

**DISEÑO DE UN PROCESO METODOLOGICO PARA LA SELECCION
DE MATERIALES PLASTICOS**

**NAZLY KARINA MARTINEZ CAMACHO
LINA MARIA VALENCIA MURILLO**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DE PRODUCCION
PROGRAMA DE INGENIERIA DE PRODUCCION
SANTIAGO DE CALI
2007**

**DISEÑO DE UN PROCESO METODOLOGICO PARA LA SELECCION
DE MATERIALES PLASTICOS**

**NAZLY KARINA MARTINEZ CAMACHO
LINA MARIA VALENCIA MURILLO**

**Pasantia para optar al titulo de
Ingeniera de Producción**

**Director
JUAN CARLOS OTERO JARAMILLO
Ing. Mecánico
Esp. Procesos de Transformación del Plástico y del Caucho**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE OCCIDENTE
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE SISTEMAS DE PRODUCCION
PROGRAMA DE INGENIERIA DE PRODUCCION
SANTIAGO DE CALI
2007**

Nota de aceptación:

Aprobado por el comité de Grado en Cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad Autónoma de Occidente para optar al título de Ingeniera de producción.

Ing. JUAN CARLOS OTERO
Director

Santiago de Cali, 23 de Julio de 2007

Este proyecto lo culmine a cabalidad gracias a cuatro grupos de personas que son en mi vida razones muy especiales:

A Dios, por que es mi razón de ser y hacer

A mi madre, Eleida Murillo, que es mi ejemplo a seguir, por sus consejos, su amor, apoyo, por sus palabras, perseverancia, tenacidad y hasta por esos regaños que hizo posible que yo culminara esta meta.

A mi hija María Camila Valencia que es mi fuerza y motor y a mi esposo Julián Raúl Flores por su amor y apoyo incondicional.

Al profesor y amigo Juan Carlos Otero, por su paciencia, por sus enseñanzas y todo el apoyo que me ofreció para poder cumplir con mis logros

Hoy me siento muy feliz, porque con dedicación y esfuerzo he logrado hacer realidad mi sueño y doy infinitas gracias:

A Dios por haberme iluminado

A mis padres Manuel Enrique Martínez y María Elena Camacho y hermanos Jorge Enrique y Norman Oswaldo, por su dedicación y esfuerzo

Al profesor Juan Carlos Otero que durante todo este tiempo me brindó su apoyo.

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO	09
RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	13
1. MARCO TEORICO	17
2. OBJETIVOS	25
2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS	25
3. RESULTADOS OBTENIDOS	26
3.1 METODOLOGIA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS	26
3.2 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA A LA SELECCIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS PARA ENVASES VETERINARIOS	37
3.3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA	39
3.3.1 Definición de Requerimientos Técnicos	40
3.3.2 Definición de Requerimientos Económicos	44
3.4 CARACTERIZACION DE MATERIELES PLASTICOS	46
3.5 SELECCIÓN FINAL DE MATERIALES	59
3.6 PRUEBAS FINALES AL PRODUCTO	60
4. CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	63
ANEXOS	65

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Lista de requerimientos técnicos	31
Tabla 2. Requerimientos económicos	44
Tabla 3. Pruebas y ensayos especializados en materiales plásticos	60

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Lista de requerimientos	29
Figura 2. Diseño de Procesos para la identificación de las necesidades del mercado	34
Figura 3. Organigrama del Diseño demostrando como las herramientas de diseño se incorporan a la selección de los Materiales	36
Figura 4. Ficha Técnica del producto	41
Figura 5. Diagrama isocrónico de esfuerzos Vs. deformación efectuada a diferentes temperaturas, para un poli carbonato sin refuerzo (Macrolon 2800)	42
Figura 6. Esfuerzo Normal vs. Deformación Unitaria	47
Figura 7. Calculo del modulo de elasticidad por medio de la secante a la curva	47
Figura 8. Clasificación de los polímeros de acuerdo a sus propiedades mecánicas	48
Figura 9. Esfuerzos de deformación comparativa de varios materiales	49
Figura 10. Relación entre la temperatura y la resistencia a la tensión de algunos materiales termoplásticos bajo régimen de carga uní axial	50
Figura 11. Curvas de Creep, para diferentes valores de esfuerzo	51
Figura 12. Diagrama esfuerzo deformación isocrónicos de un HMW-HDPE (Hostales GM 5050), efectuado a diferentes temperaturas	52
Figura 13. Modulo de creep a la tensión de un HMW-HDPE como función de la duración del esfuerzo evaluado a 23°C (Hostal es GF 7750 M)	53
Figura 14. Modulo de relajación a la tensión de un HMW-HDPE como una función de la duración del esfuerzo evaluado a 23°C (Hostales GF 7750 M)	53
Figura 15. Ensayo Haze	54
Figura 16. Escala de porcentaje de opacidad Haze	55
Figura 17. Efectos de la superficie y el volumen, sobre la transparencia del polímero.	56
Figura 18. Registro de las deformaciones sufridas por un producto plástico	57
Figura 19. Estación de configuración VICAT	58

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Emisión de gas para varios plásticos para una radiación de 107 j Kg.-1/103 mrad	64
Anexo B. Comparación de DIN/ISO Y ASTM pruebas de métodos para plásticos	64

GLOSARIO

AMORFO: mat. aplicable a estructuras sin forma regular o bien determinada.

AUTOCLAVE: aparato que sirve para esterilizar objetos y sustancias situados en su interior, por medio de vapor y altas temperaturas y presiones relativamente bajas.

AXIAL: perteneciente o relativo al eje.

DEFLEXIÓN: desviación de la dirección de una línea recta.

ELONGACIÓN: alargamiento de una pieza sometida a tracción.

ENDOTOXINAS: componentes que se encuentran en la membrana exterior de las bacterias gram negativas, microorganismos ampliamente distribuidos en el ambiente y en el intestino de los animales de sangre caliente.

ESTERILIDAD: libre de gérmenes patógenos.

OPACIDAD: cualidad de opaco, que impide el paso a la luz.

POLÍMERO: compuesto químico, natural o sintético, formado por polimerización y que consiste esencialmente en unidades estructurales repetidas.

POLIMERIZACIÓN: reacción química en la que dos o más moléculas se combinan para formar otra en la que se repiten unidades estructurales de las primitivas y su misma composición porcentual cuando estas son iguales.

REQUERIMIENTOS: exigencias específicas.

TERMOPLÁSTICO: dicho de un material: maleable por el calor.

RESUMEN

El término Plástico, en su significación mas general, se aplica a las sustancias de distintas estructuras y naturalezas que carecen de un punto fijo de ebullición y poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones. Sin embargo, en sentido restringido, denota ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales.

Los plásticos son materiales cuyos componentes esenciales consisten en compuestos macromoleculares orgánicos. Estos compuestos son creados sintéticamente o por la conversión de productos naturales. Por lo general, estos materiales pueden ser conformados o sufrir deformaciones plásticas cuando son procesados bajo ciertas condiciones.

Las propiedades de los plásticos varían tan extensamente que ellos a menudo son usados para sustituir o complementar materiales convencionales, como la madera o el metal.

Los plásticos tienen en común, que son el resultado de las largas uniones de cadenas moleculares, conocidas como "macromoléculas" (macro = grandes).

Podemos imaginarnos los plásticos como algo similar a una pelota de lana que consiste en muchos hilos individuales. En los cuales, es muy difícil tirar de un solo hilo de la pelota, a estas asociaciones intrincadas de moléculas se les suele denominar enmañaramientos, la distribución de tamaños de moléculas, afecta el comportamiento bajo condiciones de flujo, se acepta, generalmente que las

distribuciones de tamaños amplias, fluyen con mayor facilidad, debido a que el mayor número de moléculas pequeñas actúan como un lubricante.

La unidad básica constitutiva de los polímeros, se llama monómero. A menudo es posible producir polímeros diferentes con la misma sustancia básica individual, alterando el proceso de producción o creando mezclas diferentes.

Las materias primas para los monómeros son sobre todo petróleo crudo y gas natural. Porque el carbono es el único elemento esencial para los polímeros, es teóricamente posible crear los monómeros de la madera, del carbón, o aún del CO₂ atmosférico. Pero estas sustancias no se utilizan porque es barato producir los monómeros del gas y del aceite.

Todos los ingenieros están involucrados diariamente en problemas relacionados con los materiales, especialmente cuando enfrentan procesos de diseño que involucren su selección, entre miles que están disponibles.

Los ingenieros que están interesados en mejorar el rendimiento de los productos que diseñan o fabrican, deben tener conocimiento de los productos que usan y piensan comprar durante el curso de sus tareas. Los polímeros se han convertido en materiales muy importantes.

En el proceso de diseño de un producto, los materiales seleccionados deben cumplir con los requerimientos a que se encuentra expuesto y dada la multiplicidad de opciones existentes, se hace necesario tener una herramienta, que facilite el proceso de selección.

La orientación de este trabajo, se centra en la evaluación de todas las características importantes de los materiales poliméricos, con el objeto de obtener

una información completa de su composición, prestaciones y propiedades, para comprobar su calidad y su comportamiento en servicio.

INTRODUCCION

El término Plástico, en su significación mas general, se aplica a las sustancias de distintas estructuras y naturalezas que carecen de un punto fijo de ebullición y poseen durante un intervalo de temperaturas propiedades de elasticidad y flexibilidad que permiten moldearlas y adaptarlas a diferentes formas y aplicaciones¹. Sin embargo, en sentido restringido, denota ciertos tipos de materiales sintéticos obtenidos mediante fenómenos de polimerización o multiplicación artificial de los átomos de carbono en las largas cadenas moleculares de compuestos orgánicos derivados del petróleo y otras sustancias naturales.

Los plásticos son materiales cuyos componentes esenciales consisten en compuestos macromoleculares orgánicos. Estos compuestos son creados sintéticamente o por la conversión de productos naturales. Por lo general, estos materiales pueden ser conformados o sufrir deformaciones plásticas* cuando son procesados bajo ciertas condiciones.

Las propiedades de los plásticos varían tan extensamente que ellos a menudo son usados para sustituir o complementar materiales convencionales, como la madera o el metal.

Los plásticos tienen en común, que son el resultado de las largas uniones de cadenas moleculares, conocidas como "macromoléculas" (macro = grandes). Podemos imaginarnos los plásticos como algo similar a una pelota de lana que consiste en muchos hilos individuales. En los cuales, es muy difícil tirar de un solo

¹ La importancia del método en la selección de materiales [en línea]. Pereira: Universidad tecnológica de Pereira, 2005. [consultado el 15 Junio de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/162249175-180.pdf>

hilo de la pelota, a estas asociaciones intrincadas de moléculas se les suele denominar enmañamientos, la distribución de tamaños de moléculas, afecta el comportamiento bajo condiciones de flujo, se acepta, generalmente que las distribuciones de tamaños amplias, fluyen con mayor facilidad, debido a que el mayor numero de moléculas pequeñas actúan como un lubricante.

La unidad básica constitutiva de los polímeros, se llama monómero. A menudo es posible producir polímeros diferentes con la misma sustancia básica individual, alterando el proceso de producción o creando mezclas diferentes.

Las materias primas para los monómeros son sobre todo petróleo crudo y gas natural. Porque el carbono es el único elemento esencial para los polímeros, es teóricamente posible crear los monómeros de la madera, del carbón, o aún del CO₂ atmosférico. Pero estas sustancias no se utilizan porque es barato producir los monómeros del gas y del aceite.

Todos los ingenieros están involucrados diariamente en problemas relacionados con los materiales, especialmente cuando enfrentan procesos de diseño que involucren su selección, entre miles que están disponibles.

Los ingenieros que están interesados en mejorar el rendimiento de los productos que diseñan o fabrican, deben tener conocimiento de los productos que usan y piensan comprar durante el curso de sus tareas. Los polímeros se han convertido en materiales muy importantes.

En el proceso de diseño de un producto, los materiales seleccionados deben cumplir con los requerimientos a que se encuentra expuesto y dada la

multiplicidad de opciones existentes, se hace necesario tener una herramienta, que facilite el proceso de selección.

La orientación de este trabajo, se centra en la evaluación de todas las características importantes de los materiales poliméricos, con el objeto de obtener una información completa de su composición, prestaciones y propiedades, para comprobar su calidad y su comportamiento en servicio.

Los polímeros pueden variar significativamente sus propiedades, de acuerdo con, su estructura molecular, distribución de pesos moleculares, morfología cristalina y grado de orientaciones que se imponga en el procesamiento, además de las cargas y aditivos. Por este motivo, existen muchísimas posibilidades (casi infinitas) al momento de seleccionar un polímero.

Junto al vidrio, los plásticos desempeñan una función muy importante en los laboratorios. En general los plásticos se pueden dividir en los siguientes tres grupos: Elastómeros, polímeros con enlaces moleculares sueltos, siendo elásticos como caucho a temperatura normal, después de calentarlos se efectúa su endurecimiento (vulcanización) irreversible. Los elastómeros más populares son el caucho natural y el caucho de silicona.

Termoplásticos, polímeros con estructura molecular lineal, con o sin cadenas laterales que al ser transformados en objetos no cambian sus propiedades termoplásticas durante el moldeamiento. Los termoplásticos son los materiales generalmente usados en aparatos de laboratorio de plástico. Por esta razón damos una descripción corta de algunos plásticos de este grupo, subrayando sus estructuras y sus propiedades mecánicas, químicas y físicas. Los termoplásticos más populares son las poli olefinas como polietileno y polipropileno.

Duro plásticos, polímeros con enlaces moleculares fuertemente unidos, siendo muy duros y rígidos a temperatura ambiente; después de un calentamiento se efectúa el endurecimiento irreversible. Estos plásticos no se suelen usar muy frecuentemente en aparatos de laboratorio. Los duro plásticos más populares son las resinas de melamina. La resina de melamina es el producto de la poli condensación de melamina y formaldehído.

1. MARCO TEORICO

El diseño es el proceso de traducir una idea nueva o una necesidad de mercado a la información detallada, para la cual un producto puede salir a la luz. Desde el punto de vista práctico, la posibilidad de usar varios métodos y poderlos confrontar, garantiza una mayor eficiencia en la selección correcta del material en un fin específico.

La mayoría de métodos parten de la disponibilidad de una amplia gama de materiales, los cuales se debe entrar a analizar y refinar, ya sea con ayuda de: recomendaciones (métodos tradicionales), mapas de materiales (método gráfico) o información escrita que se encuentran en fuentes bibliográficas o en forma de software en bases de datos virtuales. En general, el refinamiento se hace de acuerdo con las propiedades exigidas por el componente a diseñar y sustentado con criterios como: disponibilidad, facilidad de obtención, vida de servicio, factores ambientales y costos, entre otros.

De esta forma, se llega a la selección de un único tipo de material, el cual debe resultar en el más apropiado para el fin pretendido

Cuando se construye un modelo se comienza por el objetivo, y se procede del de mayor importancia hacia abajo. Cuando se derivan prioridades, puede hacerlo tanto evaluando la importancia de cada criterio y luego la preferencia de cada alternativa o evaluando primero la preferencia de cada alternativa con respecto a los criterios antes de evaluar la importancia de cada alternativa.

A menos que usted esté muy familiarizado con las alternativas y sus efectos, es conveniente evaluar el modelo de abajo hacia arriba. De este modo, se gana en penetración de los aspectos implicados y se está en mejor posición para evaluar la

importancia relativa de los criterios

Debido al alto número de factores que afectan la selección de materiales, el diseñador determina cuales son las propiedades más relevantes para la aplicación que se tiene y con base en ellas, hace la selección. En general los métodos para seleccionar materiales hacen una refinación más o menos amplia de estos parámetros. A continuación se hace una breve descripción de tres de los métodos usados en la selección de materiales.

Método tradicional. Con este método, el ingeniero escoge el material que cree más adecuado, con base en la experiencia de partes que tiene un funcionamiento similar y que han mostrado buenos resultados. Este método es también conocido como materiales de ingeniería de partes similares. El método mantiene buena aceptación debido a lo siguiente: El ingeniero se siente seguro con un material usado y ensayado – En algunos casos esto contribuye a la estandarización del stock – Las características de proceso del polímeros son bien conocidas – La disponibilidad del polímero está asegurada – Generalmente en un gran porcentaje de partes se usan polímeros baratos, sin tratamiento, evitando pérdida de tiempo en ensayos y procesos.

Sin embargo, el uso de este método, en ocasiones conduce a serios problemas, ya que no se hace un estudio real del ambiente de trabajo del componente o equipo, el cual puede ser decisivo a la hora de escoger el material.

Método gráfico. Este método se apoya en graficas (conocidas como mapas de materiales), en las que se relacionan por pares ciertas propiedades de los materiales. El método fue diseñado exclusivamente para ser utilizado durante la etapa conceptual de la selección de materiales. En estos mapas se puede hacer una aproximación del material más adecuado (perteneciente a una determinada

familia de materiales), con base en la relación de las propiedades más importantes que debe poseer el componente.

Como ejemplo de un par de propiedades que relacionan en estos mapas están el módulo de elasticidad en función de la densidad. Como es de esperarse, rara vez el comportamiento de un componente depende sólo de una propiedad.

De igual manera, diagramas como los de **Ashby**².

Método con ayuda de bases de datos. En el Internet existe una amplia gama de bases de datos sobre materiales, que han sido construidas para comercialización libre o son distribuidas por vendedores de materiales. Estas bases de datos son el resultado de investigaciones en ensayos de materiales. Las bases de datos se dividen básicamente en dos categorías, numéricas y literarias o de referencias bibliográficas.

Dentro de las más importantes bases de datos están el banco de datos de la ASTM, la SAE, la ASM, la AISI, la NASA, etc. Una base de datos pública que ha adquirido gran importancia por la cantidad de datos y variedad de materiales que maneja, puede ser consultada en la página web. www.matweb.com. La selección de materiales con ayuda de estas bases de datos, parte del conocimiento de las principales propiedades se que deben tener para un fin específico.

El programa pide entonces el valor aproximado de las propiedades que debe tener el componente y lista uno o varios materiales que pueden servir. Son varias las fuentes donde se compilan bases de datos. En forma escrita, estas bases pueden ser encontradas en textos.

² ASHBY, Michael F. Materials Selection in Mechanical Design. 3 ed. Heinemann: Elsiver Butterworth, 2005. p. 305

Método Michael F. ASHBY Muestra que las propiedades de las diferentes clases de materiales pueden variar en amplios intervalos (dependiendo del estado de estos), formando grupos que se ubican en áreas cerradas, zonas o campos en tales diagramas. Eso significa, que una misma familia de materiales puede tener una apreciable variación en sus propiedades, generando un campo o zona en los mapas. En estos mapas se relacionan entre otras, propiedades como resistencia, módulo de elasticidad, densidad, tenacidad, difusividad y expansión y costos.

La escala logarítmica, también permite representar por ejemplo, la velocidad longitudinal de una onda elástica a través del material $= (E/12)^{1/2}$ (o lo que es lo mismo $\log E = \log - 2 \log$), dibujada como líneas ocultas paralelas. Todos los campos de materiales que una línea de estas atraviese, significa que una onda se propagará por ellos con la misma velocidad.

La selección de materiales con ayuda de estos mapas se hace entonces, encontrando con ayuda de cálculos de resistencia y aplicando criterios de falla de acuerdo a los esfuerzos aplicados, cuales son las combinaciones de propiedades más importantes para un componente dado.

Ubicado el diagrama que presenta esta combinación, se entra en un campo que corresponde a una familia determinada de materiales. De los materiales que pertenecen a esta familia, se puede hacer una preselección, y posteriormente una selección, teniendo en cuenta otros criterios como costos, disponibilidad, durabilidad, efecto ambiental, etc.

Proceso de jerarquización analítica aplicada a la selección de materiales Los procesos de selección de materiales tienen en cuenta algunos métodos como el

proceso jerárquico analítico³, el cual hace posible mirar los elementos de un problema en forma aislada: un elemento se compara contra otro con respecto a un criterio. Éste es el proceso de decisión reducido a sus términos más sencillos: comparaciones apareadas. El proceso jerárquico ayuda a estructurar un problema (a modo de focalizar sus elementos), a ordenar sus juicios, y a sintetizar y combinar todos los juicios para priorizar claramente sus alternativas de mejor a peor.

Permite incorporar tanto factores cualitativos como cuantitativos, para luego combinarlos.

Las técnicas de análisis de decisión han incrementado su popularidad en la toma de decisiones en las organizaciones. Su popularidad se debe a su habilidad para ayudar a llegar a mejores decisiones.

QFD es un sistema de calidad moderno en el que se puso la mira aumentar la participación en el mercado. Este sistema estratégicamente selecciona y hace requisitos visibles del cliente que son importantes para funcionar mejor.

Una vez que se entiende lo que el cliente necesita, se traducen en los requisitos del diseño. Para confeccionar un producto de categoría mundial, la información del cliente debe ser depurada para el proceso de fabricación y los sistemas de control. Un proceso completo del diseño incluiría embalaje, entrega y soporte. Los resultados finales son participación en el mercado aumentada y ganancias mayores⁴.

³ TERNINKO, John. Step-by-step QFD.Customer-Driver Product Design. 2 ed. Raton: Press. Boca, 1997. p. 123.

⁴ Ibíd., p. 58

Con su creación de un lenguaje común y documentación cabal. QFD desarrolla la sensibilidad de una organización para las demandas del cliente. QFD diseña valores en su producto.

QFD fortalece la calidad en los productos creando un proceso coherente del diseño. Los consumidores generalmente hacen declaraciones subjetivas al evaluar un producto. QFD utiliza una colección variada de estrategias para traducir esta retroalimentación a requisitos objetivos de requerimientos de diseño.

El proceso QFD pone en línea la organización entera.

Método de asignación de puntos

El otro proceso es la propuesta hecha por el Ing. Juan Diego Sierra M⁵. del instituto de capacitación e Investigación del Plástico y del Caucho (ICIPC), las fases son:

La aclaración de requisitos

Búsqueda de materiales

Análisis de propiedades

Selección

En la selección debemos de tener en cuenta primero el objetivo, donde se determinará el material óptimo. El segundo, es analizar si los materiales reúnen las características solicitadas, se supone una preselección de materiales.

El último será la selección por puntaje. El material que obtenga el máximo de puntos de acuerdo al modelamiento matemático propuesto por el ing. Sierra.

Principios de selección:

Asignación de puntos a cada propiedad i del material j

Ecuación No 1

Calculo del Puntaje por Material

$$P_j = G_i \cdot B_i$$

Ponderación de cada propiedad

$$G_i = 0.1 \text{ hasta } 1.0$$

Ecuación No 2

Definición de una Escala de calificación de la propiedad i

$$B_i = 1 \text{ hasta } 10$$

Otro método es el de comparación de factores⁶, que exige las siguientes etapas, que deben desarrollarse después del análisis de propiedades:

Elección de factores de evaluación. Los factores constituyen criterios de comparación, es decir, verdaderos instrumentos de comparación que permitirán escalonar las propiedades a evaluar. La elección de los factores de evaluación dependerá de los tipos y las características del producto alcanzar.

La idea básica de este método es identificar pocos y más amplios factores, para proporcionar sencillez y rapidez en las comparaciones.

Definición del significado de cada uno de los factores de evaluación. Cuanto mejor sea la definición de los factores, tanto mayor será la precisión del método.

Elección de productos de referencia para facilitar las comparaciones de los demás

⁵ M. SIERRA, Juan Diego. Presentación en Power Point, Instituto de Capacitación e Investigación del Plástico y del caucho. Pereira, 2006.

⁶ Plásticos y polímeros [en línea]. Monterrey: Broker, 1998. [consultado 15 mayo de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.bruker-axs.de/index.php>.

productos.

Los productos de referencia se escogen para facilitar el manejo de los factores de evaluación.

Escalonamiento de los factores de evaluación. Cada producto se evalúa mediante el escalonamiento de los factores de evaluación.

2. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un proceso metodológico para la selección de materiales de base polimérica basado en el cumplimiento de los requerimientos de diseño.

2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los procesos metodológicos más importantes para la selección de materiales plásticos.
- Crear una base de datos de materiales poliméricos capaz de seleccionarlos, partiendo de los requerimientos del producto.
- Definir el conjunto de pruebas de laboratorio a efectuar a los materiales seleccionados por la base de datos, que nos permita una selección definitiva.
- Realizar la selección final.
- Diseñar las pruebas de realizadas al envase final.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

Los diversos métodos de selección de materiales obligan a seleccionar o proponer uno, que se facilite este proceso y se adapte a la infraestructura de las empresas a fin de hacerlo práctico y aplicable.

Debido a que un producto, en este caso un envase para medicina veterinaria debe cumplir con las exigencias a que se va a encontrara expuesto durante su vida útil, el material con que se fabrica debe estar en concordancia con este propósito.

Se propone un método para la selección de materiales plásticos, que parta de la definición de los requerimientos técnicos y en adelante filtre las múltiples opciones a partir de base de datos y pruebas de laboratorio.

3.1 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES PLASTICOS

La etapa de definición de requerimientos reviste gran importancia para el proceso de selección de materiales. A través de ella, la necesidad de un bien o servicio se convierte en un requerimiento, es decir, se definen las características del producto que se desea comprar o contratar.

Como podemos apreciar, el proceso de adquisiciones comienza por la etapa de definición de requerimientos técnicos, que se origina con una necesidad o solicitud generada por alguna unidad de la organización. Entonces, en términos prácticos, esta etapa consistirá en generar una definición clara y precisa de los aspectos más relevantes del producto o servicio que se necesita, es decir, se trata de explicar qué, cómo, cuándo y dónde.

Para realizar esta definición será necesario tener muy claras las necesidades que

originan el requerimiento.

Es aconsejable definir de la forma más detallada posible los requerimientos técnicos con el fin de:

- ♦ Minimizar los riesgos técnicos inherentes a proyectos complejos, definiendo claramente los requerimientos.
- ♦ Tener claro lo que la empresa quiere obtener
- ♦ Extraer de las propuestas, toda la información técnica necesaria para hacer una evaluación eficiente de las mismas.

La definición de requerimientos marca el inicio del proceso de abastecimiento y determina en gran medida el resultado del mismo. Si contamos con una buena definición de requerimientos los proveedores podrán ofertarnos mejor, es decir, podrán proponer productos o servicios que se ajusten mejor a nuestros requerimientos. Además, la definición permitirá contar con criterios claros y explícitos para evaluar las alternativas que mejor se ajustan a nuestras necesidades.

Al preparar una lista detallada de requisitos es esencial para declarar si los artículos individuales son demandas o deseos⁷.

Las demandas son requisitos que se encontraron bajo todas las condiciones, en otras palabras, requisitos sin cuyo cumplimiento la solución no es aceptable.

⁷ Ibíd., p. 250

Los deseos son requisitos que deberían ser tomados en cuenta siempre que sea posible.

La distinción entre las demandas y los deseos es también importante en la etapa de evaluación, desde la selección.

Aun antes de que una cierta solución sea adoptada, una lista de demandas y los deseos deberían ser formulados y los aspectos cuantitativos y cualitativos tabulados.

Los requisitos, si es posible, deberían estar cuantificados y, en todo caso, definidos en las condiciones más claras posibles. Los indicios especiales de influencias importantes, las intenciones o los procedimientos también pueden ser incluidos en la lista de requisitos, lo cual lo hace así un compendio interno de todas las demandas y los deseos expresados en el lenguaje de los departamentos diversos involucrados en el proceso del diseño.

Como consecuencia, la lista de requisitos no refleja la posición inicial, pero desde que es continuamente revisada también presta servicio como un documento moderno que trabaja, además es un registro que puede si es necesario, ser presentado para la junta directiva y el departamento de ventas a fin de que puedan dar a conocer sus objeciones antes de que el trabajo real comience. Para un trazado recomendable de una lista de requisitos, vea a Figura 1.

Figura 1. Lista de requerimientos

		Lista de requerimientos para Proyecto, Producto	Identificación Clasificación
Cambio	Demandas Deseos	Requerimientos	Responsables
Fechas del Cambio	Especificar el artículo	<p>Objetivos de propiedades Con datos de calidad y cantidad</p> <p>Es necesario partir con los subsistemas (Funciones por ensamble)</p>	Grupo de Diseño Responsables

Fuente: Pahl G. y W. BEITZ. Engineering Design.A systematic Approach. 2 ed. Munich: Springer, 2001. p. 123.

La primera columna se usa para indicar una modificación y la fecha. La siguiente columna indica si el requisito es una demanda o un deseo. La columna intermedia contiene una lista de requisitos estructurados. En la última columna el grupo o individuo responsable pues el requisito está listado.

El formato de la lista de requisitos debería acordarse con la oficina de normas de la compañía a fin de que pueda estar usado, elaborado y que se puedan adoptar dentro de muchos departamentos. La Figura 1 es solo una sugerencia que puede, claro está, ser modificado a voluntad.

Se puede probar que el uso para formular la lista de requisitos basada en subsistemas pueden ser identificados, de lo contrario puede basarse en titulares

de la lista de comprobación Tabla 1 , con soluciones establecidas, en el cual las asambleas a ser desarrolladas o mejoradas están ya resueltas, la lista de requisitos debe estar dispuesta en conformidad con estos. Los grupos especiales del diseño son usualmente puestos en el cargo del auge de cada asamblea.

En caso de la condición y también de menos requisitos obvios es sumamente útil a registrar la fuente de deseos o demandas específicas. Se logra luego de ir de regreso a los proponentes de requisitos e indagar acerca de sus razones. Esto es Particularmente importante cuando la pregunta se levanta sea o no las demandas que pueden variarse a la luz de subsiguientes auges.

Tales cambios adentro, y las adiciones para la tarea original como podrían resultar de una mejor comprensión de posibilidades de solución o de cambios posibles en el énfasis siempre deben ser lo que se entra en la lista de requisitos, lo cual luego reflejará el progreso del proyecto de golpe.

La responsabilidad para este trabajo está vestida en el diseñador primario. La lista actualizada de requisitos debería ser circulada entre todos los departamentos preocupados con el auge del producto (la gerencia, las ventas, las cuentas, etc. de investigación). Los requisitos listos sólo deberían estar cambiados o extendidos por una decisión de esos a la cabeza del proyecto.

Los demás datos son coleccionados con la ayuda de una lista de comprobación reflejando los objetivos generales, específicos y las restricciones tabla1. Aplicando esta lista de comprobación para la tarea en mano y luego saber qué preguntas necesitarán que se contesten, los diseñadores pueden producir como respuesta a una mayoría de beneficencia de ideas.

Las listas de comprobación y los cuestionarios son particularmente útiles si cubren no más de un campo limitado, si no pasarán de moda también rápidamente, y si pueden dejarse engañar a simple vista.

Tabla 1. Lista de requerimientos técnicos.

Títulos principales	Ejemplos
Geometría	El tamaño, la altura, la anchura, el largo, el diámetro, el requisito del espacio, el número, el acomodamiento, conexión, extensión
Cinemática	Tipo de movimiento, dirección de movimiento, la velocidad, la aceleración.
Fuerzas	La dirección de fuerza, la magnitud de fuerza, frecuencia, el peso, la carga, la deformación, la rigidez, la elasticidad, la estabilidad, la resonancia
Energía	La salida, la eficiencia, la pérdida, la fricción, la ventilación, la condición, la presión, la temperatura, calentándose, enfriándose, suministro, el almacenamiento, la aptitud, la conversión.
Material	Las propiedades físicas y químicas iniciales y el producto final, materiales auxiliares, prescripción de materiales (reglas para alimentos, etc.).
Signos	Introduce y devuelve, forma, despliegue, control de equipos
Seguridad	Dirigida a principios de seguridad, sistemas protectores, operacional, la seguridad de operador y ambiental.
Ergonomía	La relación Hombre – Máquina, tipo de operación, la claridad de el trazado, el alumbrado, la estética
Producción	Limitaciones de fabricación, máximas dimensiones posibles, métodos de preferencia de producción, hombres de producción, tolerancias y calidad realizable.
Control de Calidad	Posibilidades de ir experimentando y midiendo, reglas y normas aplicativas
Ensamble	Reglas especiales, la instalación, el emplazamiento, las fundaciones.
Transporte	Las limitaciones debido al engranaje del elevador, claridad, la manera de transportar (la altura y el peso), naturaleza, condiciones de despacho
Operación	Puestos, usos especiales, comercialización, área, destino (el ejemplo , atmósfera azufrosa, las condiciones tropicales)
Mantenimiento	Reparando los intervalos, la inspección, el cambio y la reparación, pintando, limpiando.

Reciclable	El aprovechamiento, el reciclaje, la eliminación residual, el almacenamiento.
Costos	Costos de Manufactura Máximos, costo de mecanizado, depreciación
Horarios	La fecha de fin de auge, el proyecto, control, la fecha de entrega.

Fuente: Pahl G. y W. BEITZ. Engineering Design.A systematic Approach. 2 ed. Munich: Springer, 2001. p. 150.

Al comienzo el diseño es fluido y las opciones son anchas; todos los materiales deben ser considerados. Los criterios de selección se agudizan y el listado de materiales que les pueden satisfacer se estrecha. Los datos entonces más precisos son requeridos (sin embargo para un número inferior de materiales) y una forma diferente de analizar la elección debe ser usada. En las etapas finales de diseño, los datos precisos son necesarios.

El procedimiento debe reconocer la riqueza inicial de elección, y al mismo tiempo debe proveer la precisión y debe detallar en cuáles cálculos finales del diseño pueden basarse.

La elección de material no puede estar hecha independientemente de la elección de proceso por el cual el material debe ser formado, unido, acabado, y de otra manera negociado. El costo entra, en la elección de material y en medio, cuando el material es procesado. Y debe ser reconocido que el buen diseño de ingeniería no es vender productos.

Los problemas del diseño, casi siempre, están indefinidos. No tienen una solución única o "correcta", sin embargo algunas soluciones claramente serán mejor que los otros. Así es que la primera herramienta que un diseñador necesita es una amplitud de ideas: La voluntad para considerar todas las posibilidades.

El procedimiento debe reconocer la riqueza inicial de elección, y al mismo tiempo debe proveer la precisión y debe detallar en cuáles cálculos finales del diseño pueden basarse.

El punto de partida es una necesidad de mercado o una idea nueva; el punto final es la especificación completa del producto, de un producto que llena la necesidad o encarna la idea. Los escritores en diseño hacen énfasis en que la declaración y su elaboración en los requisitos del diseño deberían ser neutrales en la solución (o sea no deberían insinuar cómo estará hecha la tarea), para evitar pensar de manera estrecha.

El producto mismo está diseñado en un sistema especializado. Un sistema especializado consta de sub-ensambles y componentes, conjuntamente de un modo que realiza la tarea requerida. Esta descomposición es una forma útil para analizar un diseño existente, pero no es de mucha ayuda en el proceso del diseño mismo, esto es, en la síntesis de diseños nuevos.

El diseñador considera conceptos alternativos y las formas en las cuales estos podrían ser separados o combinados. La siguiente etapa, la personificación, toma los conceptos alentadores y busca analizar su operación en un nivel aproximado.

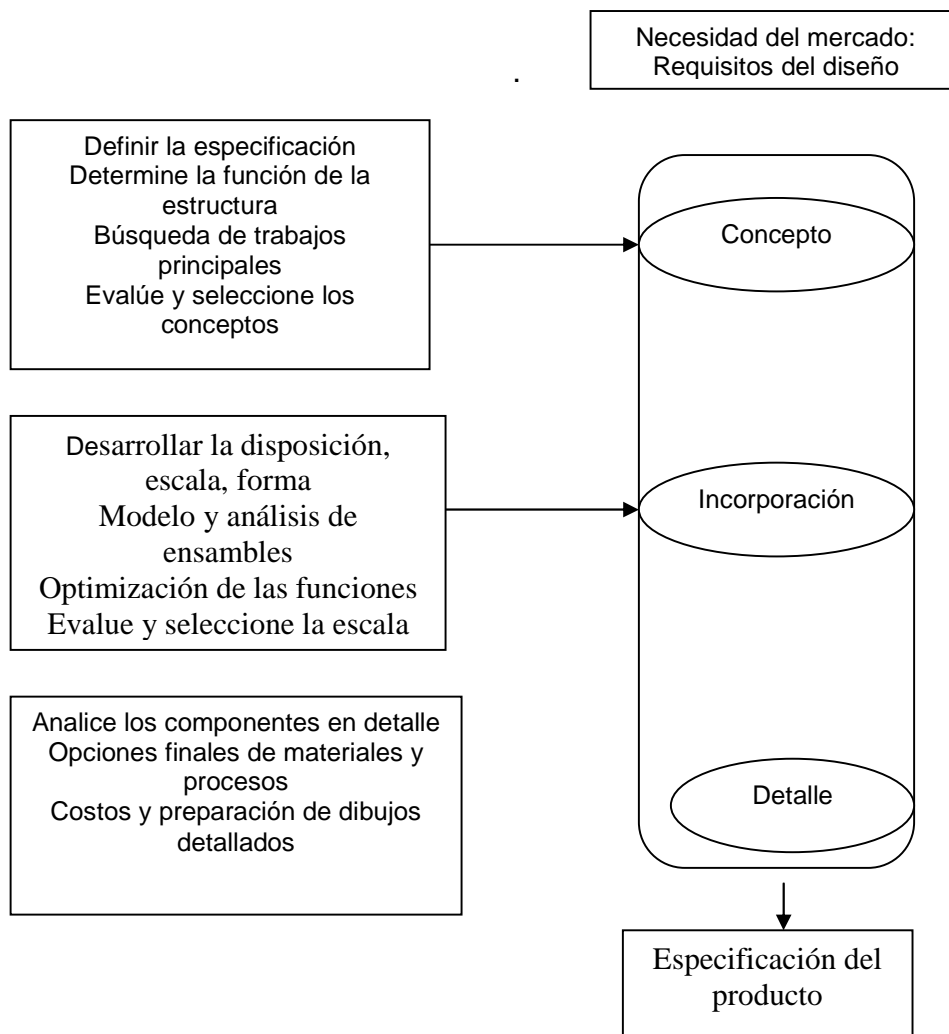
Esto implica dimensionar los componentes, y seleccionar materiales que realizarán propiedades en los rangos de tensión nerviosa, la temperatura, y el ambiente propuesto por los requisitos del diseño, examinar las implicaciones para la actuación y costo. La personificación escenifica fines con un trazado factible, lo cual está entonces aprobado para la etapa detallada del diseño.

Una elección final de geometría y material es hecha y los métodos de producción son analizados y costeados. La etapa acaba con una especificación detallada de producción.

Todo eso suena bien. Si sólo fuera tan simple. El proceso lineal sugerido por la Figura 2 oscurece el acoplador firme entre las tres etapas. Las repercusiones de elecciones hechas en el concepto o las etapas de personificación no pueden

volverse aparentes hasta que el detalle sea examinado. La optimización, DFM, DFA* y estimación de costos.

Figura 2. Diseño de procesos para la identificación de las necesidades del mercado



Fuente: Pahl G. y W. BEITZ. Engineering Design.A systematic Approach. 2 ed. Munich: Springer, 2001. p. 256.

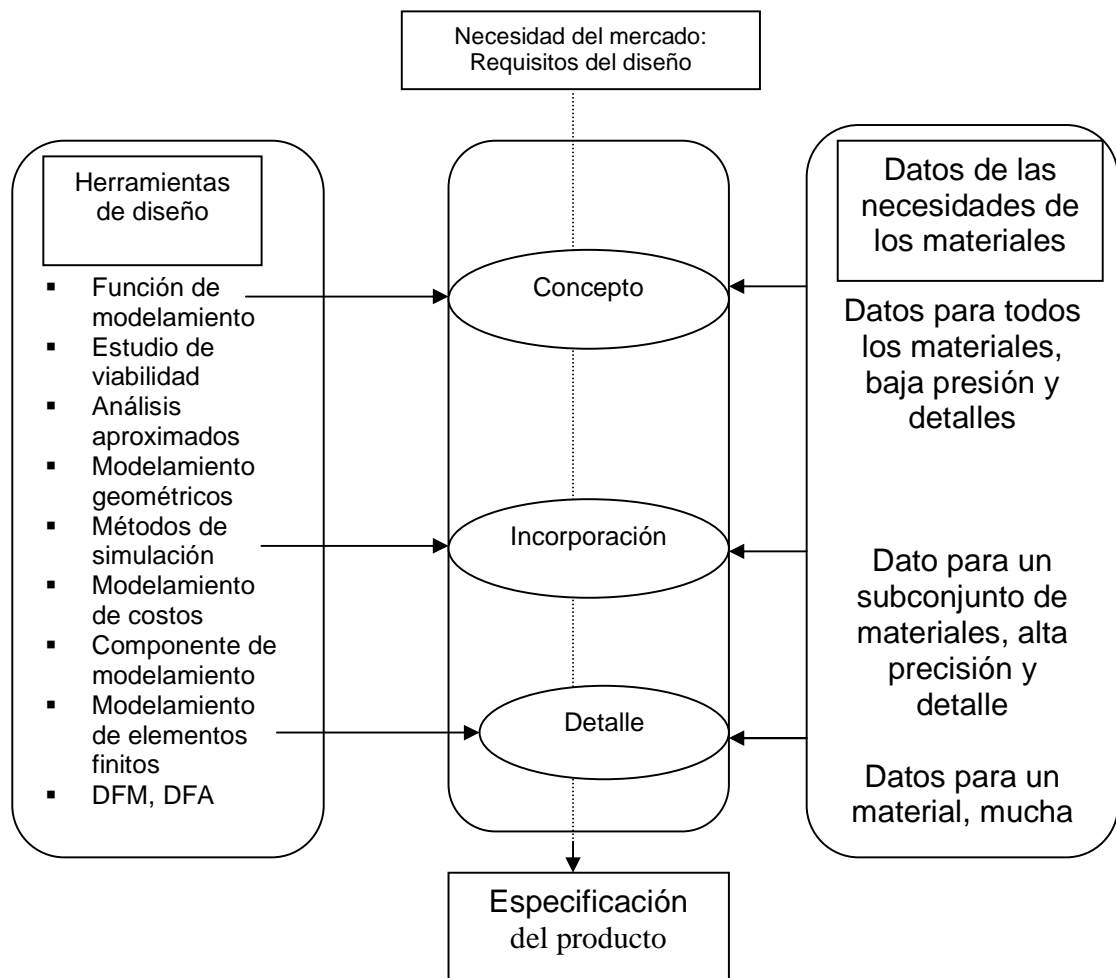
Luego el proceso del diseño se convierte en uno de los caminos que crea, conectando informes compatibles, hasta que una conexión está hecha desde lo alto ("la necesidad de mercado") para el fondo ("la especificación del producto"). Los caminos de prueba tienen calles sin salida, y dan vueltas hacia atrás. Es como encontrar una pista a través del área difícil - puede ser menester para regresar muchas veces si, al fin, nosotros debemos seguir adelante. Una vez que un camino es encontrado, es siempre posible hacer la apariencia lineal y lógica (y muchos libros hacen esto)⁸, pero la realidad es más semejante a la Figura 3, no a la Figura 2.

Así una parte crucial de diseño, es la selección de los materiales, la flexibilidad y la habilidad para explorar alternativas rápidamente, guardar la descripción así como también los detalles a los cuales se enfoca.

El diseño adaptable o para el desarrollo toma un concepto existente y busca un avance incremental en la actuación a través de un refinamiento del principio de funciones. Esto también, se hace a menudo posible por los auges en materiales: los polímeros reemplazando metales en enseres del hogar; La fibra de carbón reemplazando madera.

⁸ ASHBY, Michael F. Materials Selection in Mechanical Design. 3 ed. Butterworth: Elsiver, 2005. p.

Figura 3. Organigrama del diseño, demostrando cómo las herramientas de diseño se incorpora a la selección de los materiales



Fuente: Pahl G. y W. BEITZ. Engineering Design.A systematic Approach. 2 ed. Munich: Springer, 2001. p. 257.

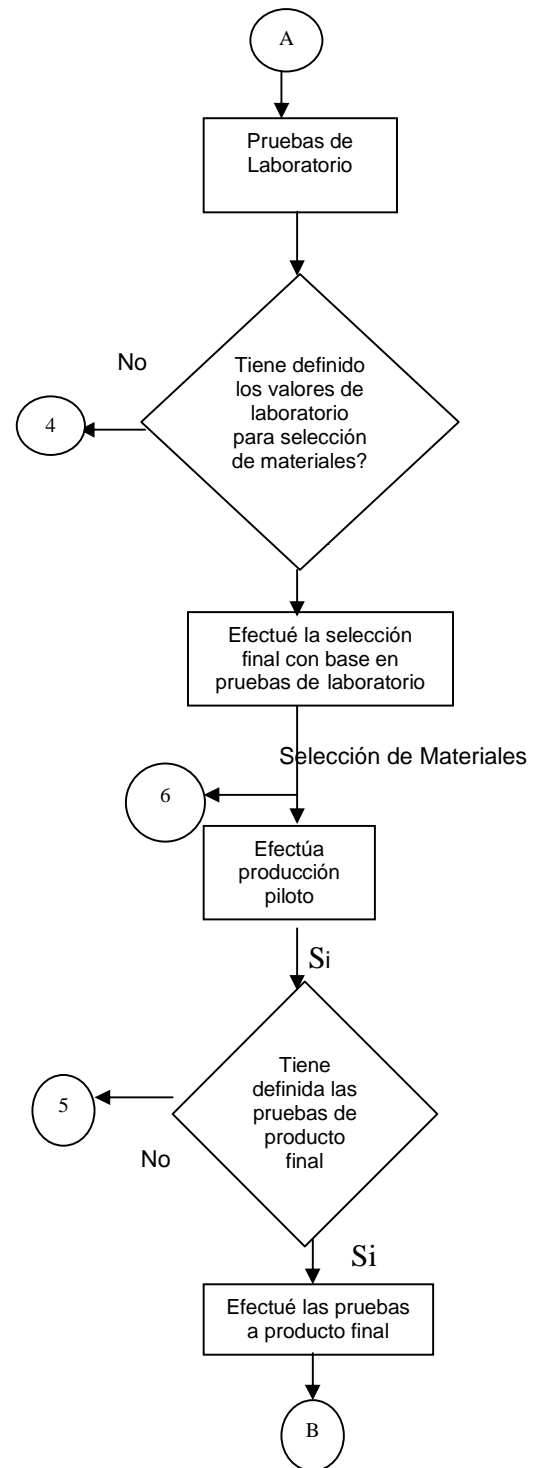
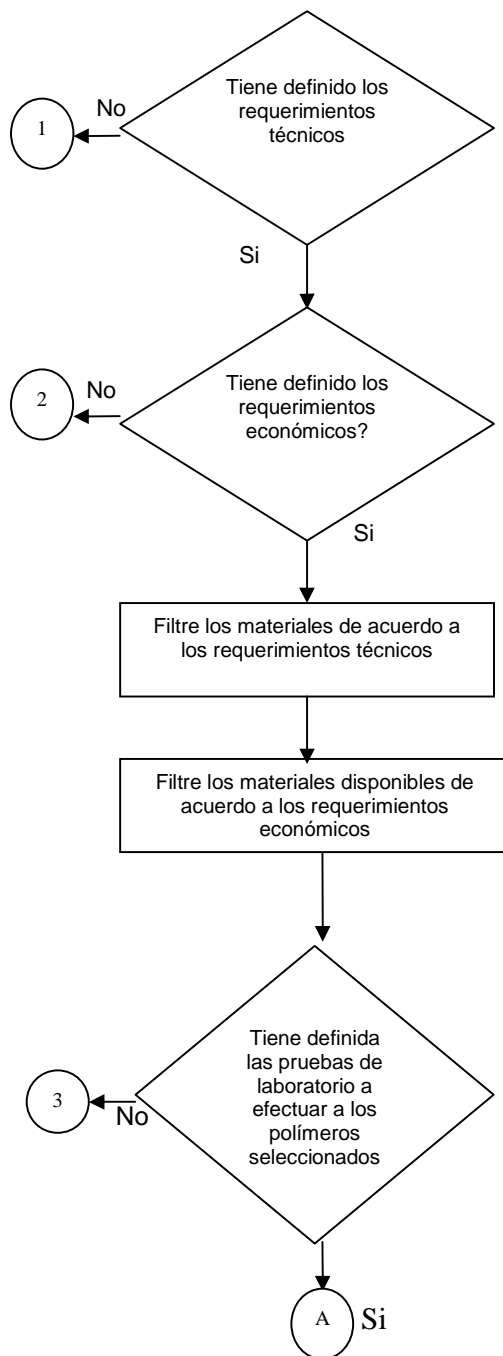
3.2 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA A LA SELECCIÓN DE MATERIALES PLASTICOS PARA ENVASE VETERINARIO

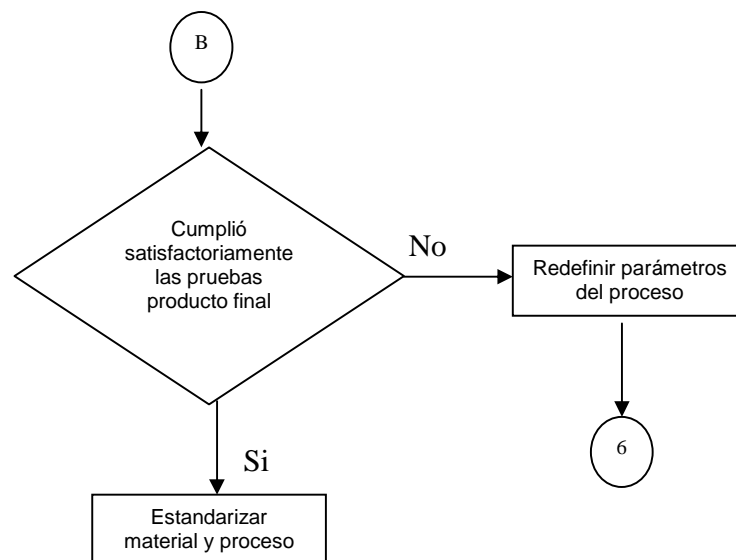
Este proceso metodológico se hizo para la selección de materiales y es una propuesta del Ing. Juan Carlos Otero y pretende además, verificar con pruebas de laboratorio el cumplimiento de las especificaciones técnicas y también pretende mediante pruebas de producción piloto, comprobar si los parámetros del proceso afectan la calidad del producto.

Las pruebas no solo son durante el proceso, sino que está diseñado particularmente para envases plásticos de productos veterinarios

De acuerdo al esquema siguiente se muestra la ruta a seguir para la selección de materiales:

SELECCIÓN DE MATERIALES





3.3 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

El producto objeto de esta investigación es un envase de 500 ml para Ivermectinas, producto veterinario inyectable

Los envases para productos médicos, deben garantizar su esterilidad, con ese propósito se realiza un proceso de esterilización en autoclave convencional, en el que somete el envase a un calentamiento con vapor a 175°C durante 15 minutos.

Los envases plásticos, son fabricados con el proceso de soplado convencional, en Polietileno de Alta Densidad (HDPE) y Polipropileno (PP), materiales que tienen temperaturas de ablandamiento cercanas a los 100°C, soportan la esterilización, gracias a que son de un espesor alto y el núcleo del material conserva sus propiedades, debido a que la baja conductividad térmica, permite que aunque la superficie del envase se encuentre a 175°C, el núcleo este por debajo de la temperatura de ablandamiento.

Sin embargo, pensando en mejorar el tratamiento de esterilización, de acuerdo con el concepto de algunos autores cuando el producto médico entra en contacto con la circulación sistémica, se hace necesario garantizar que el producto se encuentre libre de pirógenos.

El proceso de despirogenización se define como la eliminación de todas las sustancias pirogénicas incluyendo las endotoxinas bacterianas y se logra generalmente por separación o inactivación. El método más clásico es el

calentamiento del envase con calor seco en hornos y túneles de convección, que logran la destrucción térmica de las endotoxinas por incineración.

La temperatura de calentamiento debe ser de por lo menos 180°C y el tiempo de permanencia de 7 horas, para garantizar un proceso de despirogenización exitoso.

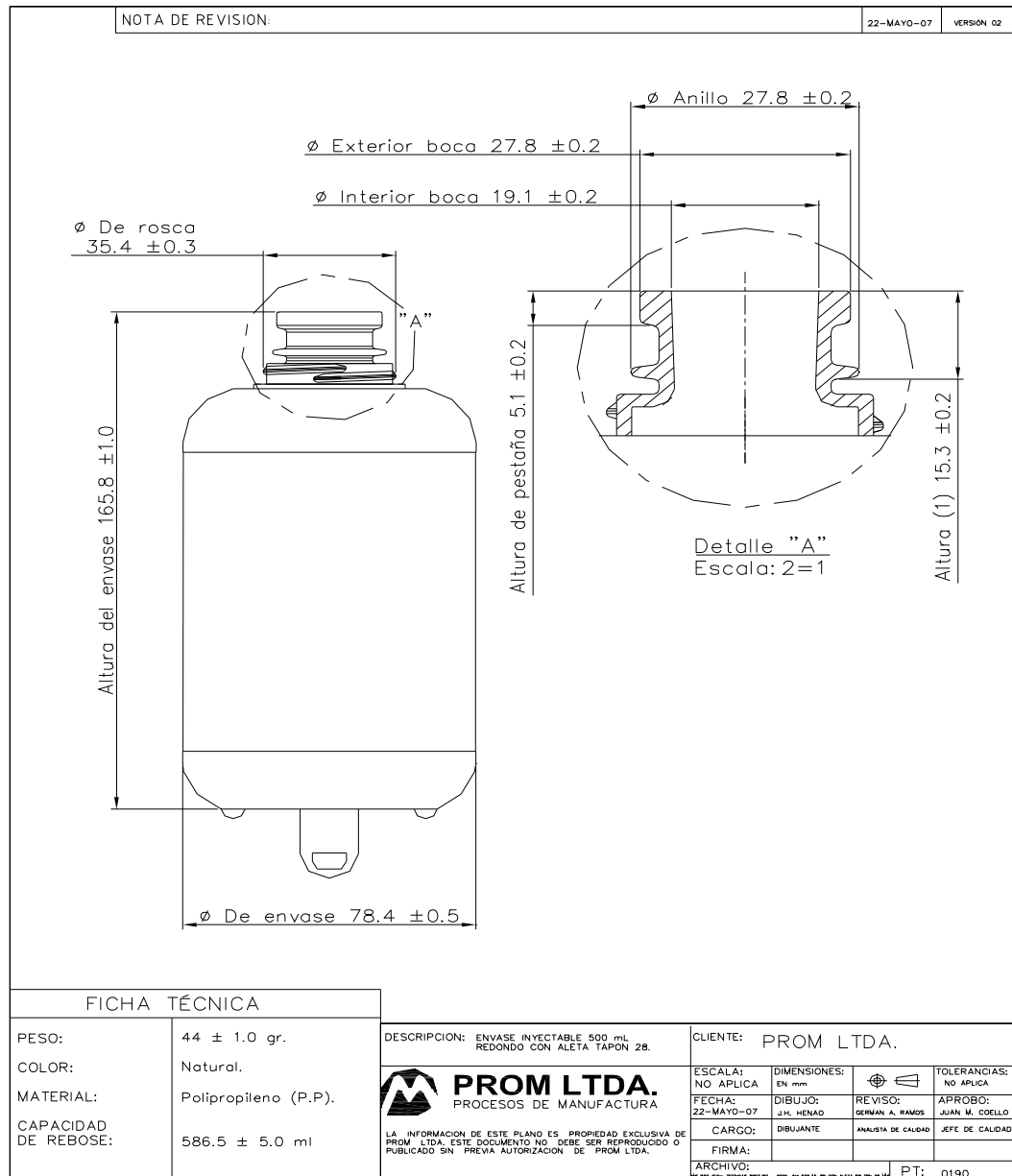
Estos requerimientos técnicos, a los cuales va a estar sometido el envase, obliga al diseñador a pensar en la utilización de un nuevo material, el proceso metodológico siguiente, pretende efectuar una descripción para una selección apropiada de material de base polimérica.

3.3.1 Definición de requerimientos técnicos: En la medida que se cuantifiquen con exactitud las exigencias que debe cumplir el producto, será más fácil tener parámetros de selección. De acuerdo con la Figura 2, los requerimientos a cumplir serán:

Requerimientos geométricos

Se encuentran determinados básicamente por las dimensiones del envase, en especial, el contenido volumétrico y las tolerancias dimensionales plasmadas en la ficha técnica del producto (ver Figura 4), las especificaciones deberán verificarse dos días después de soplado el envase y en especial después de haber efectuado la despirogenización, debido a que el polímero puede sufrir una activación térmica de las relajaciones de las moléculas, con este calentamiento y tener variaciones dimensionales significativas, en especial con materiales de baja temperatura de transición vítrea.

Figura 4. Ficha técnica del producto



Requerimientos cinemáticos

Las fuerzas dinámicas a las cuales va a estar sometido el producto, no se han cuantificado aún, en especial las que puede sufrir el producto médico envasado durante el transporte por carretera, durante la utilización del producto médico, puede sufrir impactos por accidentes.

La selección del material plástico, sin embargo, debe tener en cuenta una alta resistencia al impacto y debe ser una de las pruebas finales a efectuar a la producción piloto, después de someter el envase al proceso de despirogenización. Se espera que el envase, lleno con el producto médico, soporte una caída libre de por lo menos 1.5 m.

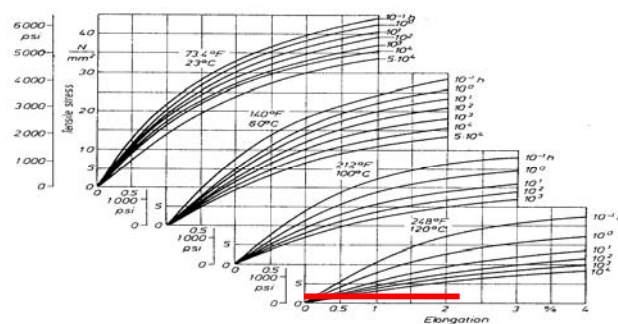
Fuerzas

Las cargas mas significativas y que mas daño pueden causar al producto final, se producen durante el transporte del producto médico envasado y durante los accidentes en uso final y fueron tratados en el punto anterior.

Las cargas estáticas, mas criticas que puede sufrir el producto ocurren durante la despirogenización misma, debido a que el autoclave utiliza vapor caliente a presión, que puede llegar colapsar el envase, si este no tiene una resistencia mecánica apropiada.

La consulta bibliográfica y la medición de la resistencia a la tensión en caliente, puede ser una de la pruebas de laboratorio a efectuar, con el fin de seleccionar los materiales antes de efectuar la producción piloto. Los resultados de las pruebas de despirogenización a diferentes temperaturas, serán una prueba final a efectuar.

Figura 5. Diagrama isocrónico de esfuerzos Vs. deformación efectuada a



Fuente: DOMININGHAUS, H. Plastics for Engineers. 3 ed. Munich: Hanser Publisher, 1993. p. 429.

diferentes temperaturas, para un policarbonato sin refuerzo (Macrolon 2800).

El efecto de la presión del vapor caliente sobre el envase, dependerá del procedimiento específico de despirogenización efectuado por cada empresa, es decir si la empresa somete al proceso al envase vacío abierto, la presión interna y externa se igualará y el envase solamente soportará su propio peso y de acuerdo a como se soporte el envase en la marmita el esfuerzo podrá cambiar de magnitud y de ubicación.

Para una situación de carga crítica, del envase soportado en una pequeña área del cuello, con un peso de envase de 8.3 ± 0.25 gr. Podrá generar un esfuerzo de 0.5 N/mm^2 descrita por la línea roja horizontal en la Figura 4.5, de acuerdo las curvas esfuerzo Vs. deformación, para una temperatura de ambiente de 120°C , soportará los esfuerzos, sin sufrir deformación permanente, para un tiempo de aplicación de la carga de 0.1 horas (6 minutos) utilizando como polímero u Macrolon 2800 (PC), sin carga.

Una descripción más precisa de la situación del envase bajo condiciones de carga, requiere de la ejecución de la prueba a 180°C , sin embargo, para el caso del PC y de acuerdo con la base de datos, este material debe verse afectado a esta temperatura, los reportes sostienen que el PC, solamente soporta 150°C por periodos cortos de tiempo.

Esto obliga a utilizar cargas, como las fibras de vidrio y otros minerales como la Wallastonita, sin embargo esta última puede afectar el contenido del envase, por tratarse de un asbesto, reconocido cancerígeno.

La utilización de fibra de vidrio, como refuerzo del PC, obliga a elaborar probetas, para efectuar ensayos de esfuerzo Vs. deformaciones, con diferentes porcentajes y longitudes de fibra, a fin de determinar, para el tiempo de aplicación de la presión y la temperatura definidos por el proceso de despirogenización (15 min y 180°C), a fin de observar si para el nivel de esfuerzos de trabajo, el polímero soporta la carga, sin producir deformaciones permanentes.

Energía

No aplica.

Material

El material debe ser un polímero puro o con carga o una mezcla de polímeros, que satisfaga los requerimientos técnicos.

Signos

No aplica.

Seguridad

El material seleccionado, sus aditivos y cargas, no deben por ningún motivo afectar la salud humana, no deben producir migraciones peligrosas, debe cumplir con las disposiciones de la Food and Drug Administration (FDA) y cumplir con las pruebas de estabilidad exigidas por el INVIMA.

La integridad del operario, también debe ser un asunto a considerar en la selección del material, ningún componente debe afectar su salud, bajo cualquier consideración de operación del proceso, si es del caso, deben agregarse estabilizadores térmicos y agentes antioxidantes a fin de evitar la degradación por causa de una sobre exposición al calor, que pueda degradar al polímero, durante el procesamiento.

Los aspectos ambientales, relacionados con el manejo del empaque, en el post consumo, también deben ser previstos, de ninguna manera el material debe afectar el medio ambiente. El empaque poder ser usado, en aplicaciones que diferentes a la original, que no pongan en riesgo la salud humana, como en empaque de productos químicos de limpieza y deberán proveerse avisos que adviertan este riesgo.

La facilidad para reciclar el producto, también debe ser un aspecto considerado, deben colocarse avisos que indiquen de que material(es) está fabricado el envase, permitiendo al reciclador, identificarlo fácilmente.

3.3.2 Definición de requerimientos económicos

Tabla 2. Requerimientos económicos

Entidad	Financiado	Contrapartida Especie	Contrapartida Dinero	Total
BPM Plásticos	60.050.000	90.000.000	11.500.000	161.550.00
Corporación Incubadora de empresas de base tecnológica del sur	10.000.000	0	0	10.000.000

occidente-incubar futuro				
Instituto de capacitación e Investigación del plástico y el caucho (ICIPC)	13.000.000	0	0	13.000.000
CM Mercado Limitada	15.000.000	0	0	15.000.000
ASTIN SENA	2.000.000	0	0	2.000.000
Totales	10.050.000	90.000.000	11.500.000	201.550.000

Listado de Materia Primas.						
<i>Actualizado a:</i>	<i>14-Feb-05</i>		TRM:	\$ 2.350,00	\$ 2.500,00	\$ 2.750,00
				1	2	3
<i>Código Item</i>	<i>Descripción</i>	<i>Unidad de Compra</i>	<i>Presentación Comercial</i>	<i>Precio</i>	<i>Precio</i>	<i>Precio</i>
0001A	Polycarbonato	Kg	Bulto*25 Kg	\$ 12.000,00	\$ 13.200,00	\$ 14.520,00
0001B	Polycarbonato	Kg	Bulto*25 Kg	\$ 12.000,00	\$ 13.200,00	\$ 14.520,00
0001H	Polycarbonato	Kg	Bulto*25 Kg	\$ 12.000,00	\$ 13.200,00	\$ 14.520,00
0001I						
0002A	Aditivos	Kg	Bulto*25 Kg	\$ 100.000,00	\$ 110.000,00	\$ 121.000,00
0003A	Colorante ámbar Merck	Kg	Bulto*25 Kg	\$ 100.000,00	\$ 110.000,00	\$ 121.000,00
0004A	Costo Unidad 500 ml Maquila	Un	Un	\$ 150,00	\$ 165,00	\$ 181,50
0004B	Costo Unidad 250 ml Maquila	Un	Un	\$ 125,00	\$ 137,50	\$ 151,25
0004C	Costo Unidad 50 ml Maquila	Un	Un	\$ 70,00	\$ 77,00	\$ 84,70
0004D	Caja Corrugada 620	Un	Un	\$ 7.000,00	\$ 7.700,00	\$ 8.470,00
0004E		Un	Un			

3.4 CARACTERIZACION DE MATERIALES PLASTICOS

ENSAYOS DE TRACCIÓN EN CALIENTE

Según el Ingeniero Juan Carlos Otero “La acción de una carga axial de tracción aplicada en un tiempo breve, sobre un cuerpo de material polimérico, de geometría regular*, originará un incremento de longitud, conocido como elongación (ΔL), que será proporcional a la fuerza aplicada. Si se define el esfuerzo normal en el eje Y (σ_y) como:

$$\sigma_y = \frac{F}{A} \quad (8)$$

Donde: F= Fuerza normal aplicada (normal al área de la sección de la probeta)

A= Área de la sección de la probeta.

La deformación unitaria, se podrá calcular como:

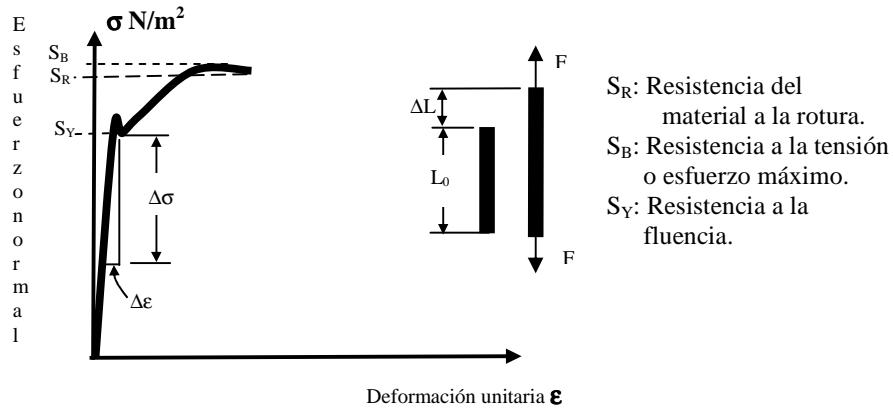
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (7)$$

La grafica Esfuerzo Normal vs. Deformación unitaria, exhibirá una primer zona con un comportamiento elástico, en el cual las deformaciones son temporales** y una segunda zona con un comportamiento plástico, en el cual las deformaciones son permanentes.

* como una probeta estandarizada en forma de hueso de perro

** esto quiere decir que si se retira la fuerza, la probeta retorna a su forma original.

Figura 6. Diagrama Esfuerzo normal Vs. Deformación unitaria

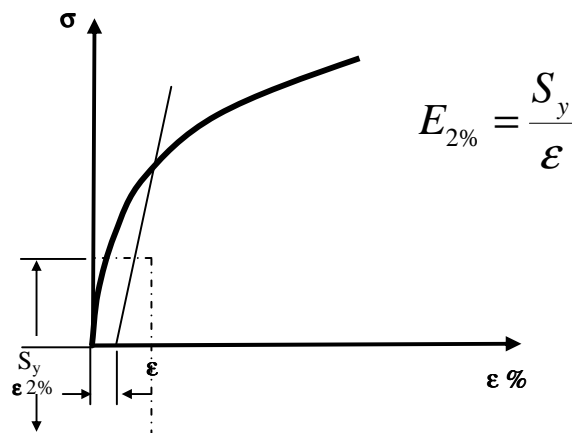


La pendiente de la zona recta de la gráfica esfuerzo deformación se define como el modulo de elasticidad o modulo elástico o modulo de Young y se puede calcular de acuerdo a la siguiente expresión:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon} \quad (8)$$

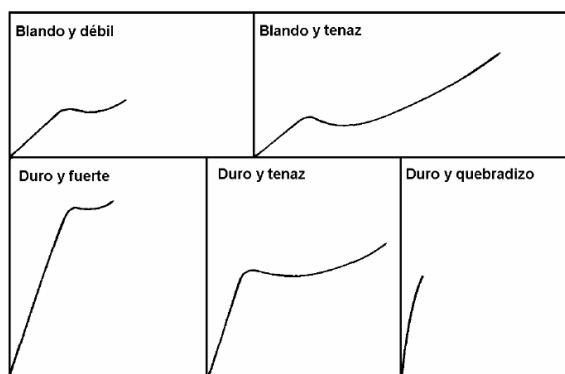
En los casos en que la grafica esfuerzo Vs. deformación, no presenta un comportamiento claramente recto en la primer zona, podrá utilizarse el método de la secante, en el cual se traza una línea secante a un punto que corta la grafica en el 1 o 2% de la deformación unitaria, paralela al primer pequeño segmento recto del diagrama. El modulo de elasticidad será la pendiente de esta línea.

Figura 7. Calculo del modulo de elasticidad por medio de la secante a la curva.



La forma característica de la Figura 6, puede cambiar, de acuerdo con la forma que adquiriera se podrán agrupar, existirán grupos de materiales con módulos de elasticidad bajos (blandos), límites de fluencia pequeños (débiles), con grandes zonas de deformación permanente (tenaces), con módulos de elasticidad altos (duros), con rupturas súbitas y pequeñas deformaciones (quebradizos) y con un alto límite de fluencia (fuertes).

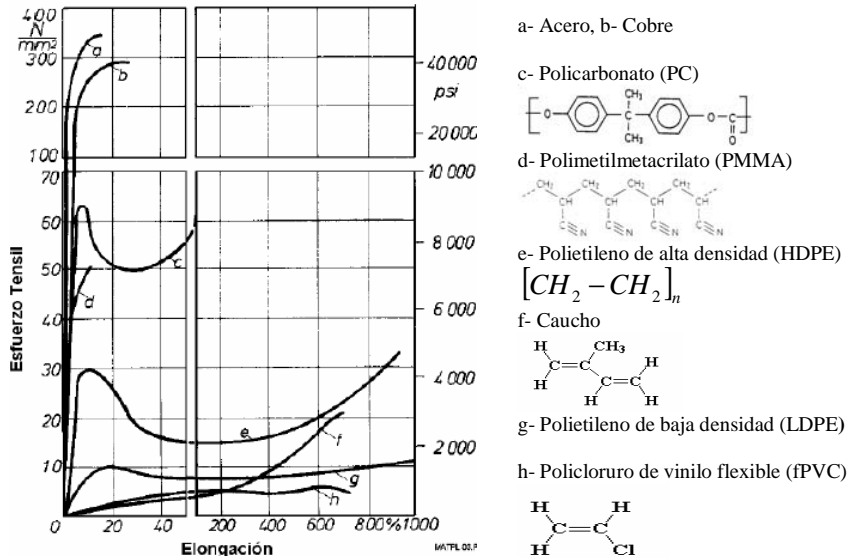
Figura 8. Clasificación de los polímeros de acuerdo a sus propiedades mecánicas.



El comportamiento de un polímero bajo condiciones de carga dependerá de muchos factores, dentro de los que se encuentran la estructura molecular, tal como se observa en la siguiente grafica, si las velocidades de aplicación de la carga han sido iguales, las estructuras más complejas, con grandes grupos, de gran peso molecular, favorecen la resistencia del material, frente a las estructuras mas simples. Esta comparación es valida siempre y cuando los materiales comparados tengan una misma distribución de longitudes de cadenas.

Los desarrollos de polietilenos de alta densidad de ultra alto peso molecular (UHMHDPE), han permitido obtener un material con propiedades mecánicas superiores a muchos materiales metálicos e inclusive a las fibras de vidrio y de carbono, a pesar de su estructura sencilla, estos materiales tienen un peso molecular tan alto que no funden con adiciones de calor y se hace necesario transformarlos mediante procesos de remoción de material.

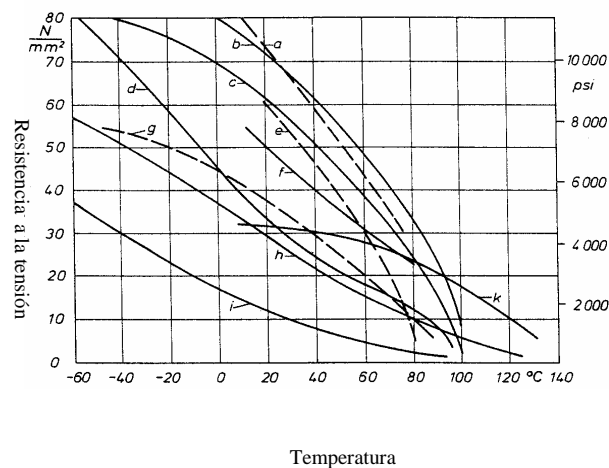
Figura 9. Esfuerzos de deformación comparativa de varios materiales.



Fuente: DOMININGHAUS, H. *Plastics for Ingenieers*. 3 ed. Munich: Hanser Verlag, 1993. p. 38.

La variación de la temperatura, es un factor que afecta el comportamiento de los polímeros bajo carga, de acuerdo con la Figura 18, bajo condición de carga uní axial, es evidente que el incremento de temperatura reducirá la resistencia mecánica del material y aumentara las deformaciones del mismo, este comportamiento es más pronunciado en polímeros con baja T_g y de acuerdo a lo mostrado en la Figura 11, el efecto del incremento de temperatura sobre la reducción de la rigidez del material, es mas evidente en los polímeros termoplásticos que en los reticulados, esto ultimo resalta la existencia de una relación entre la estructura química y el comportamiento del polímero frente al calor.

Figura 10. Relación entre la temperatura y la resistencia a la tensión de Algunos materiales termoplásticos bajo régimen de carga uní axial, donde: a. PMMA, b. SAN, c. PS, d. SB, e. PVC-U, f. ABS, g. CA, h. HDPE, i. LDPE, j. LDPE-V



Fuente: DOMININGHAUS, H. *Plastics for Ingenieers*. 3 ed. Munich: Hanser Verlag, 1993. p. 48.

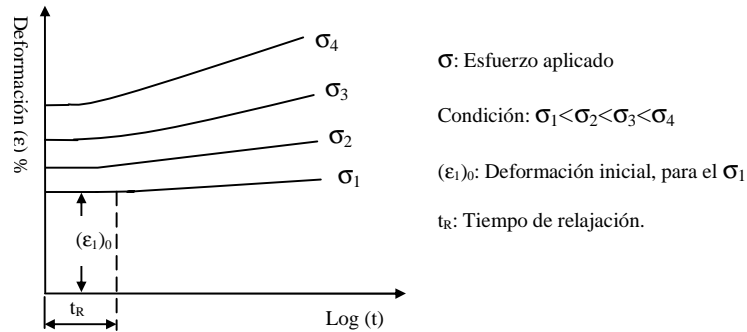
La realización de un sencillo experimento, consistente en suspender de un peso de una barra de sección circular de material polimérico termoplástico y registrar la de formación sufrida por la probeta en el tiempo, mostrará una deformación inicial, ocurrida casi instantáneamente y una aparente estabilidad dimensional durante un periodo de tiempo relativamente largo*, posteriormente y en forma muy rápida, la barra se estirará y es probable que, incluso, falle por ruptura, a este comportamiento típico de los polímeros, se le denomina “creep”**.

* El periodo de tiempo en el cual el material mantiene su estabilidad dimensional bajo condición de carga dependerá del valor del esfuerzo inicial.

** Esta palabra se puede traducir como “retardación”.

O se puede definir como “La parte dependiente del tiempo de la deformaciones proveniente de las tensiones” según <http://www.ing.unlp.edu.ar/catedras/materiales/creep.pdf>. consultad en jun 2207.

Figura 11. Curvas de Creep, para diferentes valores de esfuerzo



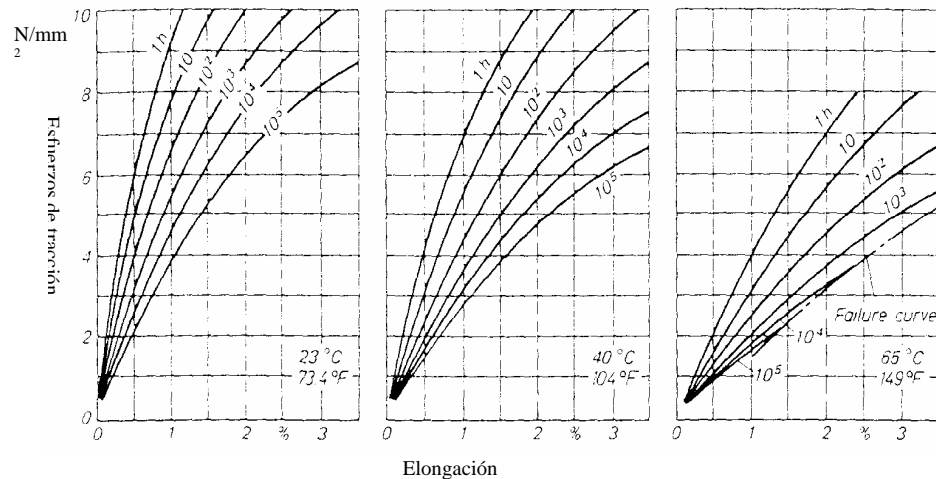
El creep puede explicarse en términos de la estructura interna, como un fenómeno de pérdida de las fuerzas de unión entre las moléculas, tal vez, por un desenmarañamiento de la fase amorfa de las moléculas, en forma similar a una fluencia retardada, por ese motivo se le suele denominar retardación. Mientras que la fase cristalina, más estable, es responsable del comportamiento elástico del material.

El Modulo de creep^{*}, se define como la relación de la tensión sobre la deformación, en un tiempo⁹ t , medidos en un diagrama isocronico, pero para periodos de tiempo de aplicación de la carga, muy altos, la curvatura de la grafica resultante, el computo de este modulo no describe bien la rigidez del material, tal como se observa en la Figura 12. Debido a su similitud con en modulo de elasticidad, suele denominarse como Modulo aparente de elasticidad, ver Figura 13.

^{*} El modulo de creep debe calcularse para deformaciones ϵ cercanas al 0.8%, según DIN 53444 parte 1, parte 3.

⁹ DOMININGHAUS, H. Plastics for Ingenieers. 3 ed. Munich: Hanser Verlag, 1993. p. 41.

Figura 12. Diagrama esfuerzo deformación isocronicos de un HMW-HDPE (Hostales GM 5050), efectuado a diferentes temperaturas.

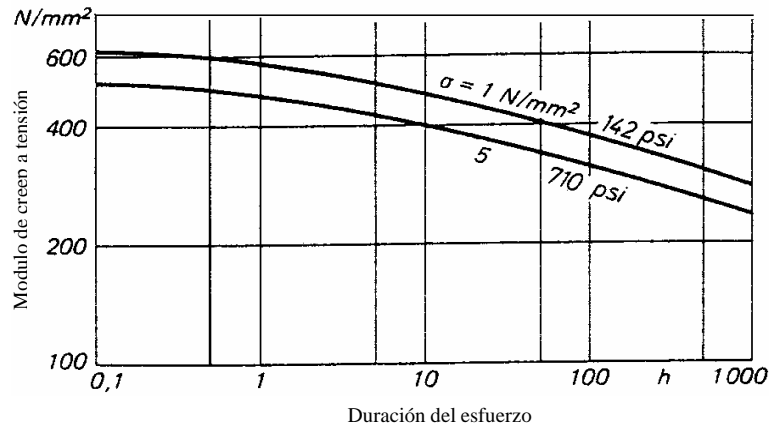


Fuente: DOMININGHAUS, H. Plastics for Ingenieers. 3 ed. Munich: Hanser Verlag, 1993. p. 41.

La fuerte influencia del tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura, en el comportamiento de un polímero, obliga a los diseñadores de productos a recurrir a diagramas esfuerzo Vs. deformación efectuados para diferentes tiempos y temperaturas, a fin de obtener diseños mas seguros, a los diagramas efectuados de esta forma se les denomina diagramas isocrónicos, un ejemplo de ellos es mostrado en la Figura 12.

Si la carga es relativamente pequeña y el tiempo de aplicación de es de corta duración, la deformación desaparecerá. Si el polímero es cargado por un largo periodo de tiempo, las fuerzas intermoleculares, lentamente, se debilitaran, permitiendo a la macromolécula, deslizarse hasta otras, con las cuales reconstruirá temporalmente las fuerzas, para continuar repitiendo el ciclo, hasta que la fuerza sea retirada. La deformación resultante perdurará en el tiempo aunque esto en realidad depende de varios factores posteriormente explicados.

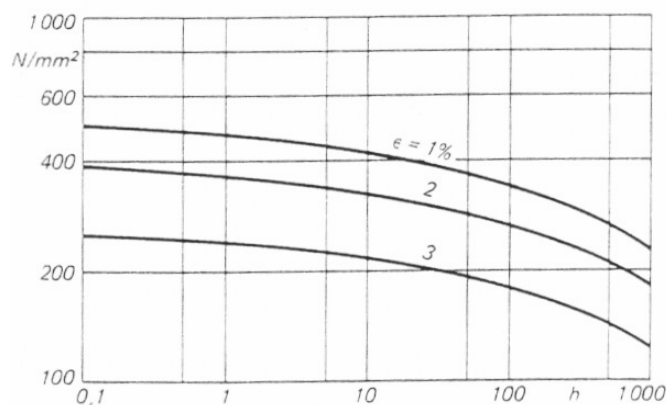
Figura 13. Modulo de creep a la tensión de un HMW-HDPE como una función de la duración del esfuerzo evaluado a 23°C (Hostales GF 7750 M).



Fuente: DOMININGHAUS, H. *Plastics for Ingenieers*. 3 ed. Munich: Hanser Verlag, 1993. p. 42.

En forma análoga al modulo de creep, el modulo de relajación también depende del tiempo y describe la relación entre el esfuerzo y la deformación, para deformaciones constantes y es frecuentemente utilizada para calcular el valor del esfuerzo de trabajo de un elemento, conocidos el tiempo de aplicación de la carga y la deformación admisible. Ver Figura 14.

Figura 14. Modulo de relajación a la tensión de un HMW-HDPE como una función de la duración del esfuerzo evaluado a 23°C (Hostal es GF 7750 M).



Fuente: DOMININGHAUS, H. *Plastics for Ingenieers*. 3 ed. Munich: Hanser Verlag, 1993. p. 42.

ENSAYO DE OPACIDAD HAZE

Este ensayo permite medir la opacidad del polímero. Un lente con intensidad de luz conocida, proyectada sobre una superficie plástica y se mide la cantidad de luz reflejada, si son iguales ambas magnitudes, la opacidad es igual a cero, normalmente, la cantidad de luz reflejada es menor, lo que implica que existe una opacidad, si:

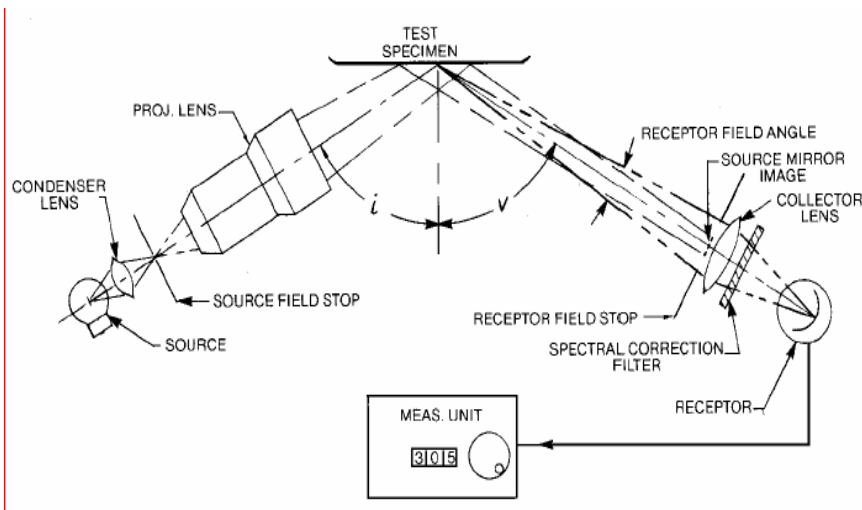
I_e = Intensidad de luz emitida

I_r = Intensidad de luz reflejada

Entonces:

$$Haze = \frac{(I_e - I_r)}{I_e} * 100\%$$

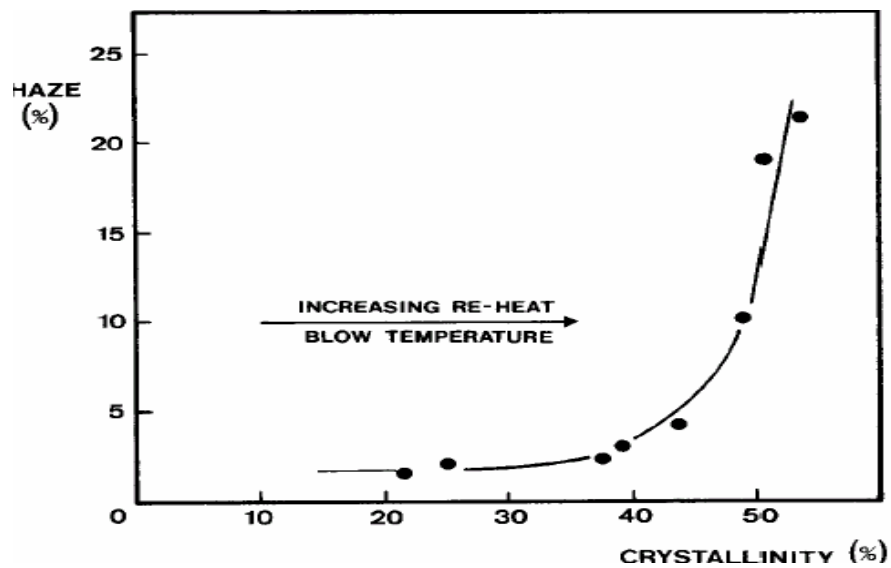
Figura 15. Ensayo Haze



Fuente: Presentación Power Point, Ing. Juan Carlos Otero

La escala Haze, Figura 17 muestra el porcentaje de opacidad de un polímero, entre mas alto sea el porcentaje Haze, mayor será su opacidad.

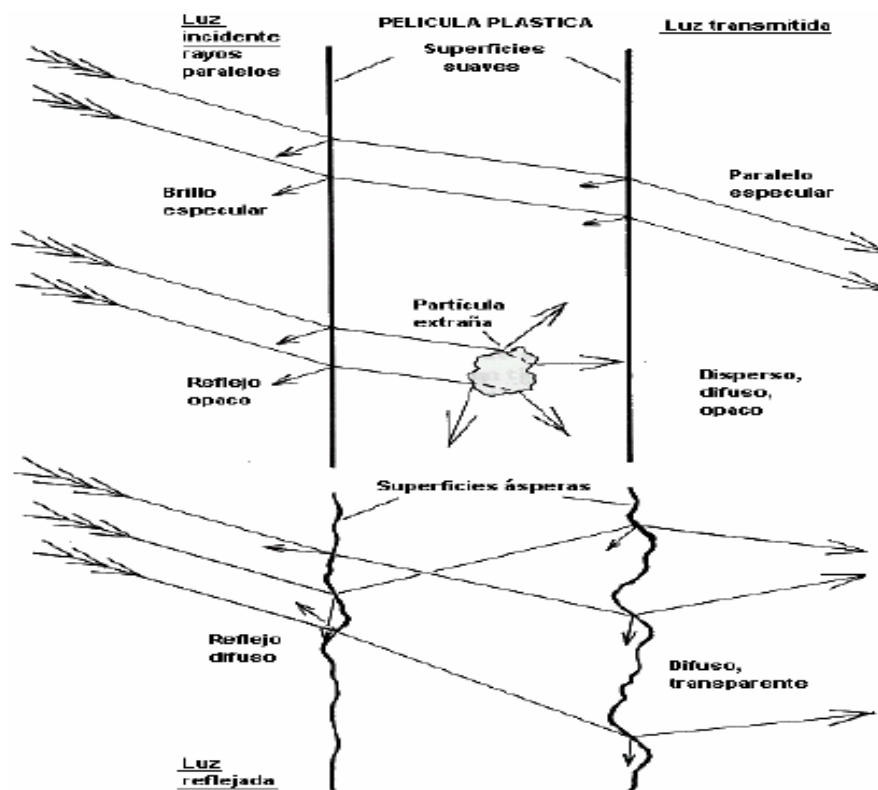
Figura 16. Escala de porcentaje de opacidad Haze



Fuente: Presentación Power Point, Ing. Juan Carlos Otero

Cuando la luz que incide sobre un cuerpo que presenta en su interior partículas extrañas, la luz transmitida sobre la película plástica será dispersa, difusa u opaca.(Figura 18)

Figura 17. Efectos de la superficie y el volumen, sobre la transparencia del polímero.



Fuente: Presentación Power Point, Ing. Juan Carlos Otero

ENSAYO DE DEFLEXION VICAT

Mide la habilidad del material para soportar una carga, especificada a temperaturas elevadas en poco tiempo. La prueba mide la temperatura a la cual se produce un valor de deflexión normalizado.

Una probeta o espécimen experimental recibe una carga su superficie y la temperatura se eleva a una tasa uniforme.

Figura 18. Estación de configuración VICAT



Fuente: Deflection Temperature and Vicat testers [en línea]. California: Olsen, 2005. [consultado 15 mayo de 2007]. Disponible en Internet: www.TiniusOlsen.com

RECUPERACIÓN DE LAS DEFORMACIONES

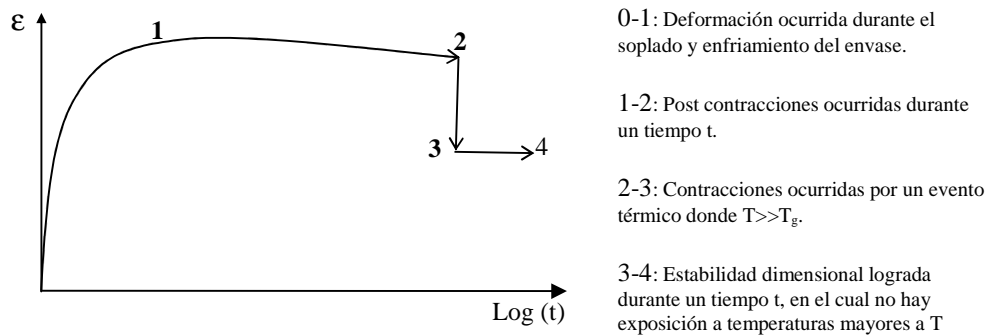
Como se ha dicho, las macro moléculas enmarañadas son elongadas cuando son sometidas a cargas de tensión, en otras palabras son estiradas hasta una longitud mayor a su longitud original, sin embargo bajo esa condición las moléculas no se sienten cómodas, ni se encuentran en un estado de equilibrio, si la carga es retirada las moléculas trataran de recuperarse con el tiempo, este fenómeno es común en los procesos de transformación en los que existen este tipo de deformaciones, como en el soplado de envases y en el termo formado, a este comportamiento suele denominársele post contracciones, debido a que ocurre con posterioridad al procesamiento.

La solución que muchos fabricantes de envases le dan al problema de control de la calidad, es efectuar las mediciones de los envases dos días después de procesados*, sin embargo es común que las post contracciones ocurran mucho

* En especial para envases fabricados con HDPE y PP.

después, activadas por exposición a temperaturas altas durante el almacenamiento o durante el transporte, por este motivo se denominan activación térmica de la recuperación de las deformaciones.

Figura 19. Registro de las deformaciones sufridas por un producto plástico.



Los materiales que tienen baja T_g , como en el caso del HDPE y el PP generalmente sufren de recuperaciones de forma rápidas, en especial cuando los tiempos de enfriamiento han sido relativamente altos, debido a que las moléculas sufren, mayoritariamente, sus recuperaciones dimensionales cuando se encuentran aun en el proceso. Esto se debe a que, de alguna manera, se inhiben las recuperaciones, al sostener la presión en el moldeo o al mantener algún nivel de tensión, en la extrusión de película o durante el proceso de hilatura, tal como se ve en la Figura 4.15.

La fase cristalina del polímero, es mucho más resistente a los efectos de la temperatura sobre la estabilidad dimensional, en realidad solamente cuando se sobrepasa T_f , los efectos de esta temperatura son evidentes en la estructura cristalina del polímero, en realidad en los polímeros semicristalinos, las variaciones dimensionales originadas por incrementos de temperatura, son responsabilidad de las relajaciones de las macromoléculas.

Los materiales que tienen altas T_g , como el PS, el PET o el PC y son enfriados rápidamente, no tienen problemas con las recuperaciones de formas durante el servicio, a menos que se expongan a temperaturas mayores a T_g , debido a que por encima de esta temperatura se descongelan las relajaciones macromoleculares y ocurren deformaciones significativas. Este es el motivo por el cual envases de PET no son utilizados en el llenado de líquidos calientes."

3.5 SELECCIÓN FINAL DE MATERIALES

La selección del tipo de material que se requiere para una aplicación determinada, es solo una de las fases en las que un diseñador o ingeniero de materiales se basa. El conjunto de fases previas a la selección comprende:

Necesidad

Diseño conceptual

Diseño de formulación

Diseño en detalle

Manufactura y montaje.

Cabe mencionar, que para la utilización de cualquiera de los métodos de selección de materiales que existen, el diseñador o ingeniero de materiales, debe partir de la etapa conceptual, en la cual se identifica una categoría o categorías muy amplias como posibles materiales a usar.

El tipo y valor del esfuerzo aplicado y la forma geométrica, entre otras variables que deben considerarse, otorgan restricciones en cuanto al tipo de material a seleccionar.

Un diseñador de materiales siempre está queriendo encontrar el material ideal para su componente. Se pueden mencionar, entre otras características, que un material ideal cumple con la siguiente lista de requisitos: Inagotable y siempre disponible para su reemplazo – que sea barato para refinar y producir – que sea fuerte, rígido, y dimensionalmente estable a diferentes temperaturas – que sea liviano – que sea resistente a la corrosión y al desgaste – que no tenga efectos sobre el medio ambiente o las personas – que sea biodegradable – que tenga numerosos usos.

Estos requisitos hacen que el ingeniero de materiales tenga dificultad en seleccionar el material ideal. Es por esto, que se usan métodos más o menos exactos, que permiten hacer una aproximación del material más idóneo para alguna aplicación. En general, los métodos para selección de materiales se basan en una serie de parámetros entre físicos, mecánicos, térmicos, eléctricos y de fabricación que determinan la utilidad técnica de un material.

El envase actual es de vidrio y presenta propiedades adecuadas como la resistencia térmica, pero presenta desventajas como son su fragilidad y baja resistencia al impacto, además de ser producidos por un solo proveedor en el país, lo que impide el mejoramiento de la competitividad de las empresas usuarias.

3.4 PRUEBAS FINALES AL PRODUCTO

Tabla 3. Pruebas y ensayos especializados en materiales plásticos

Identificación, Análisis, Caracterización	Propiedades mecánicas
<ul style="list-style-type: none"> *Índice de fluidez *Densidad *Temperatura de fusión *Identificación y caracterización de polímeros *Identificación y caracterización de aditivos *Identificación y caracterización de cargas y refuerzos *Pesos moleculares*Tiempo de inducción a la oxidación *Temperatura de inducción a la oxidación *Negro de Carbono, contenido *Fibra de vidrio, contenido *Cristalinidad, porcentaje *Monómeros residuales *Valor K en resinas de PVC 	<ul style="list-style-type: none"> *Propiedades en tracción (módulo, alargamiento, resistencia) *Propiedades en flexión (módulo, flecha máxima,...) *Propiedades en compresión *Impacto (Charpy e Izod) *Impacto (caída dardo) *Resistencia al rasgado *Dureza (Shore A, D, Barcol, bola y Rockwell) *Coeficiente de rozamiento (estático y dinámico) *Fuerza de deslaminación *Fuerza de soldadura

<ul style="list-style-type: none"> *Viscosidad en disolución y fundido *Volátiles, contenido *Determinación Carbono total *Ensayo de olores *Contenido en gel *Pureza de materias primas *Otros 	
Propiedades térmicas	Propiedades ópticas
<ul style="list-style-type: none"> *Temperatura de reblandecimiento Vicat *Temperatura de transición vítrea *Temperatura de fusión *Temperatura de flexión bajo carga (HDT) *Coeficiente de dilatación térmico lineal *Calor específico *Temperatura de soldadura *Índice de retracción *Otros 	<ul style="list-style-type: none"> *Turbiedad (HAZE) *Brillo *Color, Coordenadas *Índice de amarillamiento *Índice de blancura *Transmisión de luz
Comportamiento frente a agentes externos	Comportamiento frente al fuego
<ul style="list-style-type: none"> *Estabilidad dimensional a diferentes temperaturas *Ensayos climáticos (temperatura y humedad) *Envejecimiento natural (con medidas de condiciones meteorológicas) *Envejecimiento artificial acelerado *Resistencia a agentes químicos *Absorción de agua *Permeabilidad a gases (oxígeno, vapor de agua, dióxido de Carbono) *Otros 	<ul style="list-style-type: none"> *Índice límite de Oxígeno *Inflamabilidad (UL 94) *Otros

5. CONCLUSIONES

Como se observa de los métodos descritos, la selección correcta de un material depende de una gran cantidad de factores, lo que hace que esta no sea una tarea sencilla, pero que se puede llegar a una buena aproximación.

El número de materiales de ingeniería es grande: las decenas de miles, es una estimación conservadora.

El diseñador debe hacer una selección, de este menú vasto. Éste, sin guía, puede ser un negocio difícil y fortuito.

Es importante en los inicios de la etapa de diseño, o de rediseño, examinar el menú lleno de materiales.

La metodología para la selección de materiales con base polimérica conseguirán mejorar la competitividad de las empresas debido a:

La mayor resistencia al impacto, reducción de las pérdidas económicas por rotura.

La personalización del pedido en cuanto a la forma del envase, como en tamaño de lotes, siendo posible mejorar los flujos de caja y la diferenciación en el mercado.

La mejora en la disponibilidad de la selección del material, lo que no ocurre con la selección tradicional, pues esta sujeto al ritmo de selección sin que se ajuste necesariamente a las necesidades.

Mejoran el conocimiento de los materiales plásticos de ingeniería.

BIBLIOGRAFIA

ASHBY, Michael F. Materials Selection in Mechanical Design. 3 ed. Butterworth: Elserv Heinemann, 2005. 603 p.

Deflection Temperature and Vicat testers [en linea]. California: Olsen, 2005. [consultado 15 mayo de 2007]. Disponible en Internet: www.TiniusOlsen.com

Especialistas en polímeros [en linea]. España: POLYMAT, 2006. [consultado 8 mayo de 2007]. Disponible en Internet:
<http://www.sc.ehu.es.powgep99/polymat/analisis.html>

HDT / VICAT Heat Deflection Test Systems [en linea]. California: Oftest, 2006. [consultado 26 mayo de 2007]. Disponible en Internet:
<http://www.worldoftest.com/home.htm>

Historia de los Materiales plásticos [en linea]. Barcelona: Vicar, 2005. [consultado 12 Junio de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.historia%20plasticos.htm>

Ingenia 1091 High Clarity Antiblock Masterbatch [en linea]. Miami: Polymers, 2006. [consultado 2 mayo de 2007]. Disponible en Internet:
www.ingeniapolymers.com

La importancia del método en la selección de materiales [en linea]. Pereira: Scientia Et Técnica, 2004. [consultado 2 mayo de 2007]. Disponible en Internet:
<http://www.utp.edu.co/php/revistas/ScientiaEtTechnica/docsFTP/162249175-180.pdf>

PAHL G. y W. BEITZ. Engineering Design: A systematic Approach. 2 ed. California: Springer, 2006. 320 p.

Plásticos y polímeros [en línea]. Monterrey: Bruker, 1998. [consultado 15 mayo de 2007]. Disponible en Internet: <http://www.bruker-axs.de/index.php>.

TERNINKO, John. Step-by-step QFD: Customer-Driver Product Design. 2 ed. Raton: St. Lucie, 1997. 224 p.

ANEXOS

Anexo A. Emisión de gas para varios plásticos para una radiación de 10^7 j kg⁻¹/10³ mrad

POLIMEROS	EMISION DE GAS ml g ⁻¹
Polietileno	70
Poliestireno	1.5
Polimetilmetacrilato	35
Poliamida 66	25
Polyethyleneterephthalate	3
PF Resina Lanzada	3
Moldeado PF (Con Celulosa)	17
Moldeado PF (Mineral Reforzado)	2
Moldeado UF(Con Celulosa)	17
Moldeado MF (Con Celulosa)	10
Resina Lanzda con Poliester	2 to 40

Anexo B. Comparación de DIN/ISO Y ASTM pruebas de métodos para plásticos

PRUEBAS	ESTANDAR	SIMBOLO	UNIDADES	COMPARACION
DENSIDAD	DIN 1306 DIN 53479 ASTM D 792 D 1505	d d _R d ^{23C}	g/cm ³ a 20°C g/ml a 23°C	comparable a la misma temperatura
INDICE DE FUSION	DIN 53735 (-ISO/R 292) ASTM D 1338	MFI -	g/10 min g/10 min	comparable bajo las mismas condiciones
PROPIEDADES MECANICAS				comparable solo bajo las mismas condiciones: la forma y estado de espécimen, la longitud moderada, la proporción de la
MODULO DE ELASTICIDAD	DIN 53457	E	kN/mm ²	
	ASTM D 638 (Tensor)	E	psi (= lb/sq.in.)	
	ASTM D 695	-	psi	

	(Compresión)			prueba.
	ASTM D 790	E_B	psi	
	(Flexural)			
	ASTM D 882	-	kgf/cm ² *	
	(Película)			
MODULO ESQUELE	DIN 53445	G	kN/mm ²	comparable
MODULO DE TORSION	(ISO/DR 533) ASTM D 2236	G	dyn/cm ² psi	
TORSIONAL STIFFNESS	DIN 53447 (ISO/DR 458)	T	kN/mm ²	comparable
PROPIEDADES DE STIFFNESS	ASTM D 1043	G (!)	dN/cm ²	
PROPIEDADES DE TENSION				comparable solo bajo las mismas condiciones: la forma y estado de espécimen, la longitud moderada, la proporción de la prueba.
FUERZA DE TENSION (A CARGA MAXIMA)	DIN 53455 (ISO/DR 468)	σ_B	N/mm ²	
	DIN 53371	σ_B	N/mm ²	
	ASTM D 638	-	psi	
	ASTM D 882	-	dN/cm ²	
ELONGACION A FUERZA MAXIMA	DIN 53455	ϵ_B	%	
	DIN 53371	$\bar{\sigma}_{P\max}$	%	
PORCENTAJE DE ELONGACION	ASTM D 638	% EI	%	
	ASTM D 882	-	%	
ULTIMA FUERZA DE TENSION	DIN 53455	σ_R	N/mm ²	
	DIN 53371	σ_R	N/mm ²	
FUERZA DE TENSION (A DESCANSO)	ASTM D 638	σ_U	psi	
	ASTM D 882	-	dN/cm ²	
PORCENTAJE DE ELONGACION (A DESCANSO)	DIN 53455	σ_R	%	
	DIN 53371	σ_R	%	
	ASTM D 638	-	%	
	ASTM D 882	-	%	
RINDA LA TENSIÓN (RINDA EL PUNTO)	DIN 53455	σ_s	N/mm ²	comparable solo bajo las mismas condiciones: la forma y estado de espécimen, la longitud moderada, la proporción de la prueba.
	DIN 53371	σ_s	N/mm ²	
RINDA EL PUNTO	ASTM D 638	-	psi	
RINDA LA FUERZA	ASTM D 882	-	dN/cm ²	
PORCENTAJE	DIN 53455	E_s	%	
ELONGACION (A RIENDA)	ASTM D 882	-	%	
	DIN 53452	σ_{bB}	N/mm ²	limite de comparación
	ASTM D 790	-	psi	
	DIN 53452	σ_{bG}	N/mm ²	
	ASTM D 790	-	psi	

	DIN 53453 (ISO/R 179) ASTM D 256 (ISO/R 180)	a_n -	kJ/m^2 J/m	no comparable
	DIN 53453 (ISO/R 179) ASTM D 256 (ISO/R 180)	a_k -	kJ/m^2 J/m	no comparable
	DIN 53505 ASTM D 1706 ASTM D 2240	- - H	A,C,D escala A,D	comparable
	DIN 53456 ASTM D 785	H -	N/mm^2 escala Rockwell	no comparable
	DIN 53460 (ISO/R 306) ASTM D 1525	VSP -	$^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$	
	DIN 53458 DIN 53461 (ISO/R 75) ASTM D 648	- F_{iso} -	$^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}$ $^{\circ}\text{C}, ^{\circ}\text{F}$	
	DIN 33472 DIN 53475 (ISO/R 62) ASTM D 570	- - -	22 $^{\circ}\text{C}$ 4d,mg 23 $^{\circ}\text{C}$ 24 h, mg 23 $^{\circ}\text{C}$ 24h, % 2h	
	DIN 53482 (VDE 0303 parte 3) ASTM D 257	ρ_D ρ	$\Omega \cdot \text{cm}$ $\Omega \cdot \text{cm}$	comparable
	DIN 53482 (VDE 0303 parte 3) ASTM D 257	R_o σ	Ω Ω	comparable
	DIN 53483 (VDE 0303 parte 4)	ϵ_r	-	comparable
	ASTM D 150	ϵ	-	
	DIN 53483 (VDE 0303 parte 4)	-	-	comparable

	ASTM D 150	D-		
	- ASTM D 150	- -	- -	
	DIN 53481 (VDE 0303 parte 2) ASTM D 149	E _d -	kV/mm V/mil (1 mil=25µm)	no comparable
	DIN 53484 (VDE 0303 parte 5) ASTM D 495	- -	sec sec	no comparable
	DIN 53480 (VDE 0303 parte 1) ASTM D 2132	- -	- -	no comparable